

Grado en Ingeniería de Sistemas Audiovisuales.
(2017-2018)

Trabajo Fin de Grado

“DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN DEL ESTADO DE LA RED VIARIA”

Ignacio Manterola Zárate

M^a Celeste Campo Vázquez

Leganés, 2018



[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

El presente documento trata sobre la evolución tecnológica móvil, automovilística y la combinación de ambas para realizar diferentes estudios. Además de esto también se hablará de la repercusión que han producido en las vidas cotidianas, hasta el punto de poder realizar operaciones instantáneas cuando hace años era imprescindible un alto despliegue en la ejecución de funciones similares.

En 1946 surgió el primer servicio de telefonía móvil y desde aquel momento, hasta hoy en día, el avance de este sistema de comunicación ha evolucionado a pasos agigantados. Por otro lado en 1885, casi cien años antes, se creó el primer vehículo a motor de combustión interna con gasolina. Estas dos fechas son el principio de uno de los avances tecnológicos más revolucionarios e indispensable hoy en día en la vida cotidiana de la población. A partir de esto, se ha generado una masificación de uso de estas dos creaciones, resultando inimaginable un mundo sin teléfonos móviles y sin vehículos.

En este trabajo, se ha realizado una combinación de dispositivos móviles y de vehículos de cuatro ruedas para la realización de un prototipo de aplicación que permite analizar las condiciones de las carreteras.

Por ello se realiza un estudio a través de una aplicación móvil haciendo uso de las herramientas que hoy en día nos ofrecen estos dispositivos. Entre las herramientas que incorporan cabe destacar las siguientes: sensores de aceleración y sensores de localización.

El objetivo que se pretende alcanzar con esta aplicación a través de la colaboración ciudadana, es poder ofrecer información sobre aquellas condiciones adversas que se dan en las carreteras españolas. Esto se considera fundamental para evitar la construcción de infraestructuras cuyo coste podría ser elevado. Por tanto, además de velar por la seguridad vial, se pretende reducir los costes a nivel de impuestos a causa de estos desperfectos en las redes viales de nuestro país.

Este prototipo de aplicación está desarrollada en Android con el propósito de recoger la información del estado de las carreteras y poder llegar a compartilo con un servidor externo.

Palabras clave: Android, acelerómetro, carreteras, dispositivos móviles, baches, resaltos.

ABSTRACT

This document addresses the technological mobile and car evolution, and the combination of both, to make different studies. Also, it will be mentioned the repercussion of this technological evolution in the daily lives of the people.

Years ago, it was unimaginable to carry out the instantaneous operations that are realized today thanks to this technology.

In 1946 the first service of mobile telephony arose, and from that moment up to nowadays, the advance of this system of communication has evolved highly. On the other hand in 1885, almost 100 years earlier, it was created the first vehicle with gasoline internal combustion.

From these, a massive use of both technologies has been generated in the current world. In this work, we address a combination of both technologies to develop a prototype application able to analyze the road condition.

Therefore, I conducted a study with the application and the tools offered by these technological devices. The tools used include location sensors and acceleration sensors. The objective of the project is to provide information about damage to Spanish roads with the cooperation of citizens. This goal is important in order to reduce costs focusing on the infrastructure that really needs it.

On the other hand, it is considered relevant for improving road safety in Spain.

Keywords: android, accelerometer, roads, mobile, potholes, bosses

AGRADECIMIENTOS

Como para la gran mayoría de los estudiantes, este documento supone el fin de una etapa importante en nuestras vidas. El camino hasta llegar a este punto ha sido tedioso, con grandes dificultades, sufrimientos y sobre todo con alegrías al ir superando cada escollo que se ponía en nuestro camino. Por ello, estas palabras que se relatan a continuación van dirigidas en especial a:

A María José e Ignacio, mis padres. Han sufrido con mis suspensos y han llorado con mis aprobados. Sus valores, su esfuerzo, su lucha para conseguir todo y salir de las adversidades unidos me han servido para darme cuenta que lo que vale la pena es difícil de conseguir y que el esfuerzo lleva siempre recompensa.

A Sara, la mujer que se cruzo en mi camino y me orientó para llegar hasta este punto de mi vida. Darte gracias por el aguante, el apoyo, los consejos, por hacerme mejor persona y sobre todo feliz. Hemos luchado mano a mano y justo al final cuando más lo necesitaba me diste esa fuerza extra que toda persona precisa cuando más bajo está.

A mi abuela en colaboración con mi abuelo, allá donde esté, que entre rezos y velas colaboró a su manera a la obtención de este objetivo.

A mis grupos de amigos, que aunque pasen días y meses sin vernos cuando nos juntamos es como si el tiempo no hubiese pasado. Siempre habéis estado ahí, en las fiestas y en las penas.

Millones de Gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción.....	1
1.1.1. Soluciones tecnológicas.	2
1.1.2. Análisis/evaluación y solución de las anomalías.....	4
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivos personales.	5
1.3. Fase de desarrollo.	5
1.4. Recursos empleados.....	6
1.5. Estructura del proyecto.	7
2. ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1. Plataforma Android.....	9
2.1.1. Arquitectura Android.	9
2.1.2. Aplicaciones de android.....	10
2.2. Tecnologías que participan en el desarrollo.	12
2.2.1. Sensores.....	12
2.2.2. Sistema de localización GPS.....	14
2.3. Conexión Cliente-Servidor.....	15
2.3.1. Elementos principales	16
2.3.2. Funcionamiento.....	16
2.4. Otras aplicaciones.....	16
2.5. Trabajos de investigación previos.	19
2.6. Entorno socio-económico.....	20
2.7. Conclusiones obtenidas en el estado del arte.	20
3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	21
3.1. Introducción a la aplicación.	21
3.2. Arquitectura del sistema.	21
3.3. Tecnologías que participan en el desarrollo de la aplicación.....	23
3.3.1. Sensor del acelerómetro.	23
3.3.2. Google Maps	27
3.4. Activities y clases implementadas.....	28
3.4.1. MainActivity.java.....	28
3.4.2. Analyse_data.java	29
3.4.3. SavingAcelerometerData.java:.....	30
3.4.4. ThanksForUsing.java	30
3.4.5. Otras clases.....	31
3.5. Servidor.....	31
3.4. Diagrama de flujos.	34
3.4.1. Diagrama de flujo de Main_Activity.....	36

3.4.2.	Diagrama de flujo de analyse_data	36
3.4.3.	Diagrama de flujo de savingAcelerometerData	37
3.4.4.	Diagrama de flujo de thanksForUsing.....	37
4.	EVALUACIÓN Y RESULTADOS	40
4.1.	Evaluación de pruebas	40
4.1.1.	Pruebas en llano	40
4.2.	Pruebas	42
4.2.1.	Primeras pruebas	42
4.2.2.	Pruebas para el establecimiento del umbral óptimo.	44
4.2.3.	Prueba final.	48
4.3.	Resultado final	48
5.	APLICACIÓN FINAL	51
5.1.	MainActivity.java.....	51
5.1.1.	Diagrama de flujo de MainActivity.....	52
5.2.	Analyse_data.java.....	53
5.2.1.	Diagrama de flujo de analyseData.....	55
6.	MARCO REGULADOR.....	57
6.1.	Ley Orgánica de Protección de Datos	57
6.2.	Constitución Española.....	58
6.3.	Ley de propiedad intelectual	58
6.4.	Dirección General de Tráfico.....	58
7.	CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS	59
7.1.	Objetivos alcanzados.....	59
7.2.	Futuras mejoras	59
	ANEXO A: GESTIÓN DEL PROYECTO Y PRESUPUESTOS	61
	ANEXO B: ENGLISH VERSION.....	66
	Bibliografía	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.1 Ejemplo del estado de una red viaria de España.	1
Fig 1.2 Detección de baches y compartición de datos en un vehículo Jaguar [2]	3
Fig 2.1 Arquitectura en capas de Android. [10]	9
Fig 2.2 Bucles y el camino que debe tomar una actividad entre estados. Los rectángulos representan los métodos callback que se puede implementar para realizar operaciones cuando la actividad cambie de estado. [12]	11
Fig 2.3 Ejes cardinales del sensor del acelerómetro. [15]	12
Fig 2.4 Funcionamiento giroscopio. [17]	13
Fig 2.5 Diferentes sensores de un dispositivo móvil. [18]	13
Fig 2.6 Sistema de localización. [21].....	14
Fig 2.7 Arquitectura Cliente/Servidor [23].....	15
Fig 2.8 Esquema funcionamiento arquitectura cliente-servidor	16
Fig 2.9 Logo e interfaz de usuario de la aplicación Street Bump [27]	18
Fig 2.10 Interfaz gráfica Línea Verde [28].....	18
Fig 2.11 Logo e interfaz de usuario de la aplicación Avisos Madrid [29]	19
Fig 3.1 Arquitectura de la aplicación.....	22
Fig 3.2 Ejes del sensor del acelerómetro de un dispositivo móvil. [36].....	23
Fig 3.3 Sistema de orientación de los vehículos.....	24
Fig 3.4 Reorientación virtual de un acelerómetro desorientado. (a) Muestra las mediciones realizadas en un acelerómetro desorientado, no coincide con las medidas que se muestran en (b), que corresponden a un acelerómetro bien orientado. Sin embargo, después de que el acelerómetro desorientado haya sido virtualmente reorientado, se corrigieron las medidas que se muestran en (c) coincidiendo bastante bien con las de (b). [4].....	26
Fig 3.5 Establecimiento de una ruta.	28
Fig 3.6 Interfaz de usuario de Main_Activity.java.....	29
Fig 3.7 Interfaz de usuario de analyse_data.java.....	29
Fig 3.8 Interfaz de usuario de savingAccelerometerData.java.....	30
Fig 3.9 Interfaz de usuario de thanksForUsing.java.....	31
Fig 3.10 Panel de Control Xampp	32
Fig 3.11 Gestor phpMyAdmin	32
Fig 3.12 Tabla roadinfo de la base de datos.	33
Fig 3.13 Diagrama de flujo general de la aplicación.....	35
Fig 3.14 Diagrama de flujo Main_Activity.	36
Fig 3.15 Diagrama de flujo detección de baches.....	36
Fig 3.16 Diagrama de flujo detección de baches.....	37
Fig 3.17 Diagrama de flujo detección de baches.....	37
Fig 3.18 Diagrama de flujo detección de baches.....	38
Fig 4.1 Datos obtenidos sobre una superficie plana	40
Fig 4.2 Pendiente tras el paso por un badén	41
Fig 4.3 Pendiente tras el paso por un bache	41
Fig 4.4 Badén de cemento situado en Majadahonda	42

Fig 4.5 Datos obtenidos durante el primer viaje.....	42
Fig 4.6 Comparación entre una superficie plana y el primer trayecto.....	43
Fig 4.7 Imágenes del segundo trayecto realizado.....	44
Fig 4.8 Datos obtenidos durante el segundo trayecto.....	44
Fig 4.9 Datos obtenidos del segundo trayecto junto con los umbrales de detección	45
Fig 4.10 Zoom sobre la imagen 4.9	45
Fig 4.11 Datos obtenidos tras el paso por un badén pequeño	45
Fig 4.12 Instante exacto de la detección.....	45
Fig 4.13 Datos del trayecto realizado en Pozuelo de Alarcón.....	46
Fig 4.14 Detección de un bache.....	47
Fig 4.15 Datos del bache sobrepasado.....	47
Fig 4.16 Datos obtenidos en un trayecto de mayor distancia.	48
Fig 5.1 Interfaz de usuario de MainActivity.....	51
Fig 5.2 Alerta a causa de campos vacíos	51
Fig 5.3 Diagrama de flujo de MainActivity	52
Fig 5.4 Interfaz de usuario de analyse_data	53
Fig 5.5 Baches detectados a lo largo de un trayecto.....	54
Fig 5.6 Envío al organismo encargado	54
Fig 5.7 Base de datos del servidor.	55
Fig 5.8 Captura de datos analyse_data.java.....	55
Fig 5.9 Subida datos a servidor	56
Fig A.1 <i>Diagrama de Gantt</i>	63
Fig B.1 Example of road in bad conditions.	66
Fig B.2 Google Maps implemented in the app.	70
Fig B.3 Activity analysedata.java and savingAcelerometerData.java.....	71
Fig B.4 Information in a flat surface	72
Fig B.5 Pothole detect	73
Fig B.6 Comparison between the data in Figure B.4 and Figure B.5.....	73
Fig B.7 Deteccion in the application	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Líneas de investigación en el área tecnológica.....	4
Tabla 4-1 Umbrales de detección.....	48
Tabla A.1 Estimación del número de horas de cada fase.	1
Tabla A.0-2 Tiempo empleado en la realización del proyecto (en horas).....	2
Tabla A.3 Costes por hora de cada trabajador.....	1
Tabla 4.4 Amortización del software utilizado	2
Tabla A.5 Coste del software utilizado.	2
Tabla A.6 Coste total del proyecto.....	3

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El primer capítulo trata de realizar una introducción del problema que sufren las carreteras españolas. Este documento no va dirigido al análisis de la congestión del tráfico, sino al de las condiciones desfavorables y el coste necesario tanto para su análisis como para su mantenimiento.

1.1. Introducción.

En los últimos años el problema del tráfico en España comienza a generar una gran preocupación. La densidad de vehículos en las carreteras se ha incrementado considerablemente y con ello la emisión de gases contaminantes. Desde la llegada de la crisis, en 2007, el mantenimiento de las carreteras ha ido decreciendo, llegando a ser prácticamente nulo.

De acuerdo con el informe de la Asociación Española de la Carretera (AEC) [1], la red viaria española se encuentra peor que en el año 1985 (Figura 1.1) por el estado del pavimento, de la señalización, de las marcas viales o de las protecciones metálicas y a día de hoy, se necesitaría un inversión de 6.000 millones de euros.



Fig 1.1 Ejemplo del estado de una red viaria de España.

Dejando de lado el factor económico, aunque en realidad supone la mayor preocupación por parte de la población, el principal problema radica en la seguridad vial. Esto es consecuencia de las condiciones desfavorables en las que se encuentran las carreteras, convirtiéndose en la causa principal de un tercio de los accidentes. Estas desfavorables condiciones son provocadas por diversos factores:

- La gran cantidad de vehículos que circulan por las carreteras, así como su elevado peso, generando la degradación del asfalto.
- La mala señalización vertical de aquellas zonas con riesgo y su desgaste reflexivo, desfavoreciendo la visibilidad de estas.
- Las marcas viales o señalización horizontal.

- Y el más importante, y en el que se centra este proyecto, que son los firmes. Como firmes se hace referencias a grietas, baches, deformaciones, etc, que eleva el riesgo de sufrir un accidente por las mencionadas causas.

Debido a estos factores adversos, se idean una serie de procedimientos para la posible detección de estas anomalías y a posteriori someterlas a un estudio adecuado y poder así disminuir el riesgo de accidentes.

1.1.1. Soluciones tecnológicas.

La seguridad vial precisa de la implementación de nuevas ideas y de la innovación tecnológica. Estas soluciones se ofrecen a través de diferentes medios: la primera de ellas, la aportada por los usuarios y la segunda por aquellas fuentes científicas con su aportación a la sociedad.

Jaguar Land Rover (Figura 1.2) junto con Google [2], investigan una nueva tecnología capaz de identificar la ubicación y relevancia de baches. Esto servirá para compartir información a tiempo real por medio de la ya conocida “Nube” con otros automóviles, además de con los organismos responsables de tráfico. Estos últimos deberán decidir la prioridad sobre las diferentes reparaciones de las vías.

La finalidad de estos sistemas de detección es el intercambio de datos entre vehículos para así alertar a los conductores y reducir la velocidad evitando el peligro. Otra alternativa que se ofrece, es que el vehículo pueda ajustar la configuración de la suspensión de forma independiente para la reducción de los impactos. De este modo se puede reducir la probabilidad de daños en el vehículo así como posibles accidentes de tráfico.

El siguiente paso a lo comentado con anterioridad se fundamenta en la implantación de una avanzada cámara estereoscópica¹ de orientación frontal y una innovadora tecnología de sensores para la detección de la superficie de la carretera. La solución sugerida analiza si la cámara captura imágenes del bache o del deterioro de las carreteras, para compartirlas a posteriori, junto con la ubicación, con las autoridades viales.

¹ El nombre de cámara estereoscópica recibe su nombre a causa de la visión estereoscópica humana (3D). La visión binocular humana, genera dos imágenes que luego se mezclan en el cerebro creando una imagen 3D. Las cámaras estereoscópicas tratan de imitar este comportamiento, haciendo uso de dos objetivos (o dos cámaras separadas estratégicamente) captando la fotografía en el mismo instante. [41]



Fig 1.2 Detección de baches y compartición de datos en un vehículo Jaguar [2]

Por la otra parte, Google ha elaborado una patente para una tecnología que puede evaluar la calidad de las calles mediante el uso de un GPS y sensores en los vehículos. Básicamente, cuando un vehículo sobrepasa un bache los sensores del vehículo toman la información de esta imperfección inmediatamente. Posteriormente a la detección, esta información es enviada a través de una red móvil a un servidor, permitiendo a Google tener una base de datos con las calles que necesitan ser reparadas. Esto a su vez puede influir en las indicaciones que ofrece Google en el GPS para proporcionar una ruta alternativa menos peligrosa, y que otros conductores puedan evitar así los baches y realizar una conducción más segura.

En la siguiente tabla se muestran los factores en los que se enfoca la línea de investigación para las nuevas tecnologías.

Tabla 1-1 Líneas de investigación en el área tecnológica [3]

ÁREA	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
Innovación Tecnológica	<p>Disponibilidad a tiempo real de información sobre movilidad</p> <p>Conectividad entre agentes involucrados en el tráfico</p> <p>Sistemas Inteligentes en carreteras y vehículos: señalización interactiva</p> <p>Conducción autónoma</p> <p>Movilidad y big data</p> <p>Tecnología en la asistencia en los accidentes</p>

1.1.2. Análisis/evaluación y solución de las anomalías.

Como se ha comentado en el apartado anterior, los datos recogidos son enviados mediante una red móvil a un servidor, que este caso sería la Dirección General de Tráfico (DGT), al que tiene acceso el organismo encargado del arreglo de las imperfecciones de la red viaria. Esta comunicación se realiza con el objetivo de generar un posterior análisis y de establecer las detecciones de firmes gracias a umbrales como consecuencia de estos datos recogidos. Otra gran utilidad consiste en el conocimiento con precisión del lugar afectado por medio de su localización GPS para cada uno de estos baches. Dicho esto, si en una localización del mapa se suceden numerosas anomalías en la red viaria, este organismo deberá tomar medidas al respecto y poner solución. Por ejemplo, si un número elevado de vehículos detecta o envía información de las calles de Madrid con numerosos baches o resaltos, esta organización deberá analizar ese punto específico y comprobar si es necesaria la reparación de la vía.

En los apartados posteriores se esclarecerán más a fondo los objetivos de la aplicación desarrollada en este trabajo, su funcionalidad y su semejanza con las tecnologías ya existentes en el mercado.

1.2. Objetivos.

El trabajo fin de grado realizado consiste en la obtención de información sobre el estado de las carreteras mediante una aplicación desarrollada para dispositivos móviles Android, que denomino TrafficSense. Del mismo modo que las otras aplicaciones existentes, esta aplicación se encarga de la obtención de datos procedentes del sensor del acelerómetro. Estos datos serán enviados a un servidor externo donde se analizan para establecer los umbrales de detección. De este modo, la aplicación detectará, de forma autónoma e independiente, las condiciones de las carreteras.

1.2.1. Objetivos personales.

La elección de desarrollar una aplicación móvil se basa en los siguientes objetivos:

- Continuar con la formación adquirida, siendo capaz de desarrollar una aplicación en el sistema operativo Android.
- Implementar aplicaciones que puedan servir de ayuda a diferentes personas, así como facilitar las labores cotidianas
- Aprender nuevas funcionalidad a la hora de desarrollar una aplicación.

1.3. Fase de desarrollo.

Para la elaboración y ejecución de este proyecto se han llevado a cabo una serie de hitos:

- Hito 1. Identificar el problema: La primera etapa consiste en una documentación exhaustiva para la posible percepción del problema y realización de posibles soluciones.

Algunos de los documentos consultados durante esta fase, son los artículos nombrados a continuación:

- P.Mohan, V.N.Padmanabhan and R.Ramjee, “*TrafficSense: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile*”, India, Bangalore: Technical Report MSR-TR-2008-59, 2008 [4]
 - Microsoft, Microsoft, 2018. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/trafficsense-rich-monitoring-of-road-and-traffic-conditions-using-mobile-smartphones/> [5]
 - G.Chugh1, D.Bansal and S.Sofat *Road Condition Detection Using Smartphone Sensors*., Chandigarh, India: © International Research Publication House, 2014 [6]
- Hito 2. Herramientas de uso: Para este apartado se identifican las herramientas que serán útiles para la ejecución del proyecto. Por ello, se hace uso de Android Studio, plataforma que a través del lenguaje Java y XML es capaz de realizar aplicaciones móviles.

Los recursos utilizados para la formación en Android han sido:

- «Developers, » 7 Agosto 2018. Web oficial Android developers en la detalla tanto conceptos teóricos como funciones a desarrollar. [7]
- J. F.Knigh, *Uses of accelerometer data collected from a wearable system*, London: Springer, 2006. [8]

- Hito 3. Desarrollo: Una vez conocido el problema y encontrado el medio para su elaboración, se procederá a realizar un estudio de cómo irá orientado el proyecto.

Como todo proyecto comienza con un “brainstorming” acerca de cómo podrá ser la aplicación a desarrollar: pantallas, colores, tipo de letra, botones, funcionalidad, etc. Una vez concretada una idea general es recomendable y de gran ayuda la elaboración de un esquema. En este organigrama se sitúan las diferentes pantallas de las que va a disponer la aplicación, la funcionalidad de cada uno de sus elementos etc.

- Hito 4. Pruebas y análisis de datos: Tras el desarrollo de la aplicación, se procede a la obtención y análisis de los diferentes datos (en entornos reales). Estos son examinados externamente a la aplicación para así establecer los umbrales de detecciones.
- Hito 5. Aplicación final. Tras la finalización de la fase anterior, se procede a la creación de una aplicación final capacitada para la detección de firmas de forma independiente.
- Hito 6. Documento. Tras la finalización, tanto de pruebas como desarrollo, se procede a la elaboración del documento técnico.

1.4. Recursos empleados.

En esta sección se muestran los diferentes recursos aplicados para la elaboración del proyecto:

- Hardware:
 - o Smartphone Android, Huawei P9 Lite.
- Software:
 - o Android Nougat 7.0. Esta versión es de las más modernas, anterior a la nueva que ha salido llamada Oreo 8.0, pudiendo recoger las innovaciones que se realizan a lo largo de las diferentes actualizaciones.
 - o Android Studio (Integrated Development Environment, IDE). Es el entorno de desarrollo proporcionado por Google
 - o Microsoft Office. En concreto las herramientas Word y Excel, utilizadas durante la redacción de esta memoria y el análisis de los datos recogidos por la aplicación.
- Otros:
 - o Rover 45 y un Seat Ibiza, vehículos para la elaboración del estudio de las carreteras.

1.5. Estructura del proyecto.

Para poner fin al primer capítulo, en este apartado se explica la estructura que seguirá dicho proyecto:

- **Capítulo 1: Introducción y objetivos:** Como se ha visto a lo largo de este capítulo se ha tratado el tema de las nuevas tecnologías para la detección de anomalías en las carreteras españolas. Para finalizar también se hace una breve referencia a los recursos utilizados, fases y objetivos del proyecto.
- **Capítulo 2: Estado del arte:** Esta sección data sobre los aspectos técnicos que participan y se utilizan para el desarrollo de la aplicación.
- **Capítulo 3: Implementación del sistema:** Se explica los elementos que han participado en la ejecución de la aplicación, además de su implementación
- **Capítulo 4: Evaluación y resultados:** Se realizará un análisis de los datos recogidos por la aplicación para establecer los umbrales de detección. Tras el establecimiento de estos umbrales, se pondrá a prueba la aplicación final.
- **Capítulo 5: Marco regulador:** En el desarrollo de este capítulo se realizará un repaso de la legislación vigente en España y en el marco de Europa, que afecta a este TFG. Se trata de poner de manifiesto las leyes de obligado cumplimiento, en caso de querer lanzar la aplicación al público general.
- **Capítulo 6: Conclusión.** En este capítulo se comentan las conclusiones halladas a lo largo de la elaboración del proyecto, así como los objetivos alcanzados y futuras mejoras.
- **Anexo A: Gestión de proyectos y presupuesto:** Se realiza una gestión y un establecimiento de costes del proyecto realizado.
- **Anexo B: Extended Abstract:** A lo largo de este anexo se elabora un resumen en inglés del documento escrito.

2. ESTADO DEL ARTE

A lo largo del presente capítulo, se exponen los aspectos técnicos llevados a cabo en la elaboración de este trabajo. Además, se realizará una comparativa entre las actuales aplicaciones o medios que detectan las diferentes condiciones de las carreteras respecto la aplicación que se está diseñando en este proyecto. Dicho esto, en este proceso cabe destacar los siguientes elementos.

2.1. Plataforma Android

Android es un sistema operativo destinado a teléfonos móviles, tabletas, relojes inteligentes, televisiones, e incluso automóviles. Desarrollado por Google, está basado en el Kernel de Linux, un núcleo libre, gratuito y multiplataforma. Además permite a los desarrolladores de los dispositivos anteriores la implementación de hardware para un Kernel público. [9]

2.1.1. Arquitectura Android.

En la imagen siguiente se muestra la distribución por capas de la arquitectura de este sistema operativo. [10]

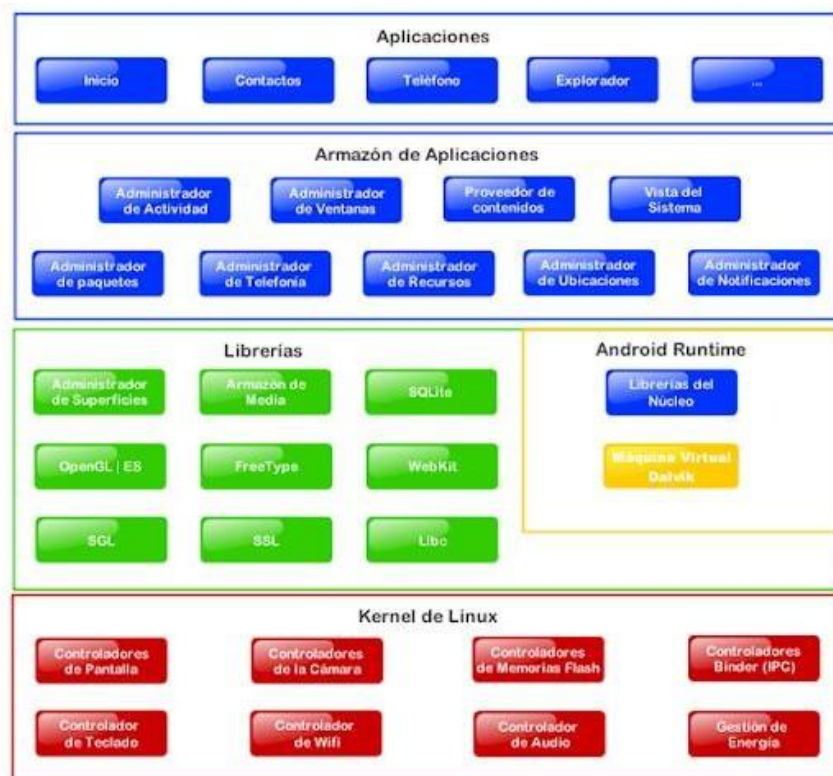


Fig 2.1 Arquitectura en capas de Android. [10]

- **Aplicaciones:** Esta capa dispone tanto las incorporadas por el propio sistema operativo como las que posteriormente los usuarios introduzcan.
- **Framework de Aplicaciones:** En esta capa figura el conjunto de herramientas de desarrollo de cualquier aplicación.

- **Tiempo de ejecución de Android:** Lo forman las Core Libraries. Es decir, librerías con una gran variedad de clases Java y la máquina virtual Dalvik.
- **Núcleo Linux:** Contiene los drivers necesarios para que diversos componentes hardware hagan uso mediante un procedimiento de llamadas.

2.1.2. Aplicaciones de android

Una aplicación Android se ejecuta en el interior de su proceso Linux. La característica fundamental es que el tiempo y ciclo de vida de una aplicación lo determina el sistema a través de una combinación de estados que pueden ser: qué aplicación esté en funcionamiento, la prioridad para cada usuario y la cantidad de memoria disponible. [10] [11]

- **Componentes de una aplicación:** Los diferentes elementos de los que se compone una aplicación Android son:
 - Vista (View): Hace referencia a los diferentes elementos que conforman la interfaz de usuario de una aplicación.
 - Actividad (Activity): Término análogo a una pantalla donde se dispone la interfaz gráfica y el usuario hará uso de sus funcionalidades. Dependiendo del uso que cada consumidor aporte a la aplicación, esta sufrirá diversas transiciones a lo largo de su ciclo de vida.

La imagen siguiente muestra los métodos partícipes en este ciclo de vida al que se está haciendo referencia.

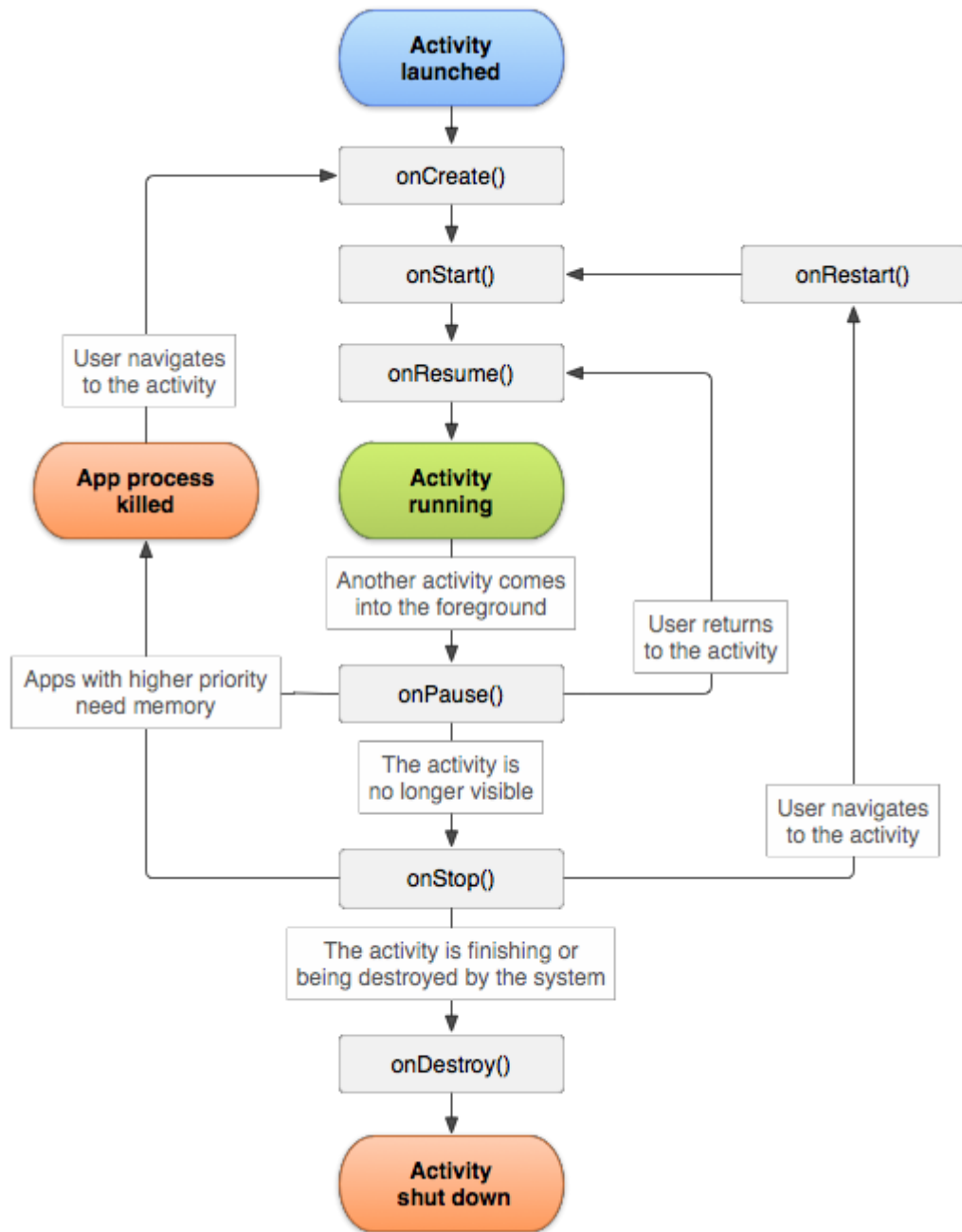


Fig 2.2 Bucles y el camino que debe tomar una actividad entre estados. Los rectángulos representan los métodos callback que se puede implementar para realizar operaciones cuando la actividad cambie de estado. [12]

- Servicio (Service): Elementos que se ejecutan en segundo plano, como pueden ser las notificaciones.

Además de los anteriormente mencionados, también destacan entre otros: layout, Intent, Fragment, Widget, Broadcast Receiver y Content provider.

2.2. Tecnologías que participan en el desarrollo.

Las características que se detallan, hacen referencia a los elementos técnicos, procedente de los dispositivos móviles, que participan en la conclusión de la aplicación.

2.2.1. Sensores.

Los dispositivos móviles cuentan con diferentes sensores que hacen posible la obtención de múltiples tipos de datos. A continuación, se describe de forma breve cada uno de ellos: [13]

- **Acelerómetro:** El objetivo principal es la detección de cambios de orientación en los dispositivos. Se constituye por dos placas metálicas (una fija y otra móvil) enfrentadas entre sí, como si de un condensador se tratara. Al originarse una aceleración, el dispositivo manifiesta el cambio y la capacidad se ve modificada, provocando el desplazamiento de la placa móvil. [14]

El sensor cuantifica y envía la carga al chip para su procesamiento y obtención de la aceleración producida. Otras funcionalidades, además de la empleada en este proyecto, se utilizan para calcular: distancia, velocidad o las calorías quemadas. Para no confundir los movimientos del cuerpo con los típicos de uso, los terminales tienen registrada la carga eléctrica que genera cada movimiento.

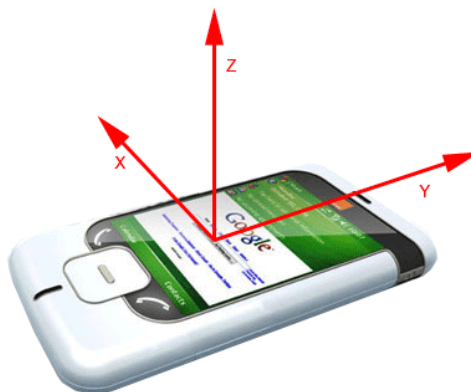


Fig 2.3 Ejes cardinales del sensor del acelerómetro. [15]

- **Giroscopio:** Similar al acelerómetro aunque más preciso y menos lineal. También calcula la dirección y el movimiento angular, siendo capaz de evaluar la rotación total. Se compone de los siguientes elementos:
 - Uno o varios brazos en vibración constante.
 - Un brazo de detección.
 - Un estator central fijo al que van conectados los brazos.
 - Sensores capaces de determinar el movimiento en base a las fuerzas de Coriolis que actúan sobre el conjunto.

Debido al movimiento de los brazos, la velocidad angular que recibe incide sobre dichos brazos alterando el sentido de la vibración. Estos cambios, se detectan y traducen en impulso eléctricos la rotación del espacio. [16]

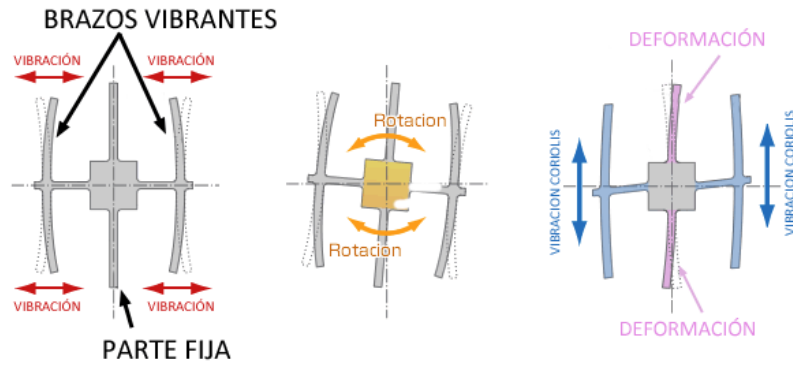


Fig 2.4 Funcionamiento giroscopio. [17]

- **Barómetro:** Mide la presión atmosférica permitiendo calcular la altitud aproximada, apoyando al GPS.
- **Magnetómetro:** Mide la cantidad de fuerza magnética. Se encarga del principalmente del funcionamiento de la brújula.
- **Sensor de proximidad:** Emite una luz infrarroja que es capaz de saber si tiene algo próximo o no, según el tiempo que tarde en volver dicha luz. Un ejemplo de su funcionamiento se produce cuando estamos realizando una llamada, momento en el que se apaga la pantalla al tener el teléfono cerca de la oreja.
- **Sensor de luz:** Capaz de medir la cantidad de luz que hay en el entorno, y a partir de eso, el smartphone regula automáticamente el brillo de la pantalla, siempre y cuando lo tengamos activado.
- **Termómetro:** Puede medir tanto la temperatura interna del dispositivo, como la temperatura ambiente.
- **Sensor de ritmo cardíaco:** Haciendo uso del *flash* del terminal, detecta nuestro ritmo cardíaco con solo apoyar sobre el mismo nuestro dedo.
- **Podómetro:** Calcula los pasos que damos de forma mucho más precisa que el acelerómetro.
- **Lector de huellas:** Un sensor capacitivo que permite detectar nuestra huella dactilar. Multiplica la seguridad del dispositivo.

Además de los mencionados anteriormente, también cabe destacar los sensores de presión, sensores de imagen (para poder tomar fotografías) y sensores por ultrasonidos.



Fig 2.5 Diferentes sensores de un dispositivo móvil. [18]

2.2.2. Sistema de localización GPS.

El sistema de posicionamiento global (GPS) permite determinar la posición en cualquier instante de cualquier objeto o persona en todo el mundo. [19]

En los dispositivos Android funciona a través de una amplia red de 24 a 32 satélites que cubren toda la superficie del planeta Tierra orbitando alrededor de esta. Además, desde cualquier punto del planeta se puede obtener una perspectiva general, con un mínimo de cuatro satélites. Cuando un “smartphone” o dispositivo haga uso de la localización se conectará a dicha red con el mayor número de satélites disponibles. A causa de esto, se obtiene una serie de datos por medio de la triangulación inversa para el posible posicionamiento de los diferentes terminales en el mapa. [20]



Fig 2.6 Sistema de localización. [21]

El GPS es un sistema GNSS² que fue desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, y que permite obtener las coordenadas geográficas en cualquier parte del planeta. Actualmente, este servicio de localización es accesible para cualquier usuario desde todo tipo de dispositivo (móvil, tablet, vehículos). Tal y como se ha indicado, este sistema utiliza 24 satélites ubicados sobre seis órbitas. En cada una de estas órbitas se localizan 4 satélites transmitiendo señales sobre una ubicación con intervalos de tiempo regulares y una velocidad de propagación equiparable a la de la luz. Estas señales son interceptadas por receptores GPS de cualquier dispositivo capaz de recibir este tipo de señales.

Otro rasgo destacable es el método para calcular la distancia a la que se encuentra el receptor de cada uno de los satélites (como mínimo tres). Esta distancia se obtiene en base a los tiempos que se tarda en recibir el mensaje, es decir, cuanto mayor sea el número de satélites que perciba un dispositivo, mayor precisión a la hora de establecer la ubicación. Este proceso recibe el nombre de trilateración³. [21]

Por otra parte, existe otro sistema de posicionamiento basado en WiFi (WPS), el cual se obtiene cuando el GPS no es apropiado. Este hecho se propicia en el interior de edificios

² GNSS, Global Navigation Satellite System

³ La trilateración es un método matemático para determinar las posiciones relativas de objetos usando la geometría de triángulos de forma análoga a la triangulación. [46]

donde la señal que llega al dispositivo receptor es bloqueada por las paredes. Debido a esto el posicionamiento WiFi aprovecha los puntos de acceso inalámbricos en las aéreas urbanas haciendo uso de la intensidad de la señal recibida.

2.3. Conexión Cliente-Servidor.

El modelo cliente/servidor es un estándar de comunicación donde un dispositivo cliente solicita servicios al servidor por medio de mensajes. La diferencia entre un cliente y un servidor es que el primero de ellos es el elemento que comienza las comunicaciones mientras que el segundo responde a los mensajes enviados. [22]

Este estándar consiste en una arquitectura distribuida de computación donde las tareas se reparten entre los diferentes procesadores obteniendo así el cliente datos de forma transparente.

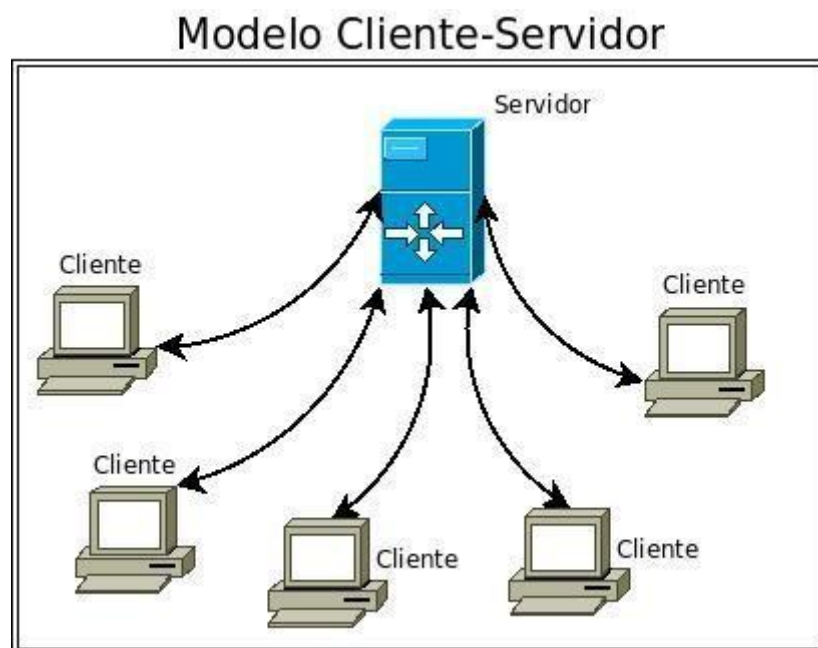


Fig 2.7 Arquitectura Cliente/Servidor [23]

El hecho de ser un sistema distribuido le atribuye una serie de características entre las que destaca:

- Recursos compartidos: Esto se debe al gran número de clientes que pueden estar conectados al un servidor. Por esto comparten recursos tanto lógicos como físicos.
- Protocolo asimétrico: El servidor siempre se mantiene a la espera de recibir una solicitud de parte del cliente. Si esto no sucede se mantendrá en el mismo estado, hasta que reciba un solicitud.
- Transparente ante su localización: El servidor puede residir en la misma máquina que el cliente u otra diferente de la red. Además puede ocultar la localización al demandante por medio de redirecciones de servicios.

2.3.1. Elementos principales

- Cliente: Terminal que inicia la comunicación del proceso.
- Servidor: Cualquier recurso cuya finalidad es proporcionar respuesta al cliente tras una solicitud. Como se menciona anteriormente, pueden recibir más de una solicitud, tanto del mismo cliente como de diferentes.
- Middleware: También conocido como módulo intermediario, el cual se sitúa entre medias de los elementos anteriores. Su función consiste en establecer la comunicación entre los solicitantes y los solicitados.

2.3.2. Funcionamiento

En la siguiente figura se ilustra el funcionamiento de este modelo.

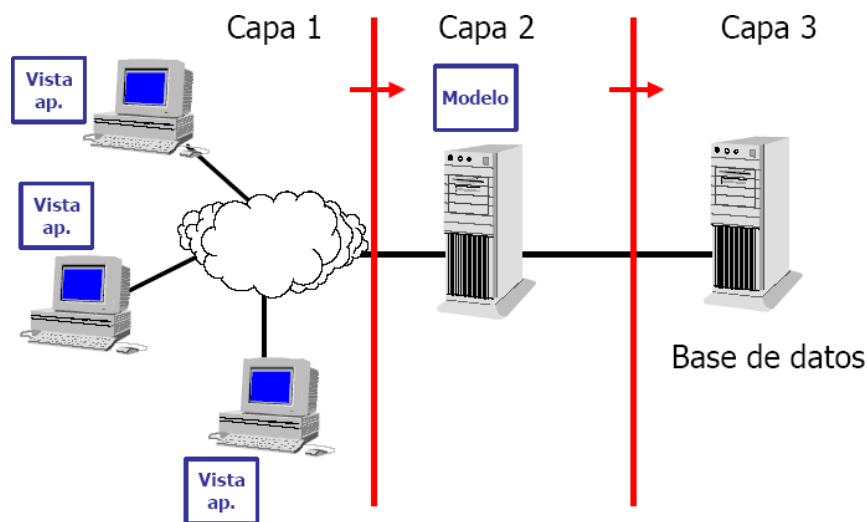


Fig 2.8 Esquema funcionamiento arquitectura cliente-servidor

En esta comunicación se distinguen tres capas:

- Capa 1: Se encuentran los clientes los cuales solicitan la información al servidor
- Capa 2: Se aloja el servidor. Este sistema recibe la petición procedente de la capa uno (puede ser de uno o múltiples clientes), la procesa la información posteriormente envía una respuesta al cliente.

2.4. Otras aplicaciones.

Como consecuencia de la preocupación existente por el estado de las carreteras, diversas empresas están inmersas en desarrollar proyectos o aplicaciones para intentar solventar estos problemas.

Así, a principios del año 2017 Ford incorpora en sus Galaxy, Mondeo y S-Max varios sensores que analizan las carreteras. Su objetivo primordial es la detección de baches y resaltos. Como consecuencia de estas anomalías se propone la solución de ajustar la dureza de la suspensión para minimizar el impacto. [24]

TrafficSense, en relación con lo mencionado en el apartado anterior, trata de cumplimentar aspectos similares. La diferencia respecto al prototipo que oferta Ford es que, la aplicación que se está desarrollando no participa en los aspectos mecánicos de los vehículos.

La solución de Ford se basa en dos pasos fundamentales:

- En primer lugar, cada uno de sus vehículos detecta los puntos conflictivos y se adapta en consecuencia.
- Posteriormente, registra la información y lo sube a la nube, creando un mapa de baches y para posteriormente compartirlo con el resto de vehículos conectados. Esta característica guarda relación con uno de los objetivos de la aplicación. A través de TrafficSense, se intentará compartir los datos de los baches detectados en un servidor externo.

Por otro lado, Google patentó un sistema de sensores en vehículos para detectar los baches de una carretera, ayudado por el GPS. Como consecuencia de esta detección, ofrece rutas alternativas en Google Maps para así poder aliviar el estrés en la conducción de los conductores, la reducción de accidentes y problemas mecánicos del vehículo. [25] Con esta nueva tecnología, Google planea desarrollar un sistema que pueda monitorear las vibraciones de los automóviles en el momento de pasar por un bache, almacenando estos datos en el GPS para advertir de la presencia de los baches en las próximas rutas. Esta información será transmitida a través de Google Maps.

Otra empresa que compite en la elaboración de este software es Jaguar Land Rover, [2] como se indica en el Capítulo 1, argumentando que esta aplicación podría evitar muchos pinchazos y daños en el vehículo a causa del mal estado del asfalto. Además, investiga una nueva tecnología de conectividad para vehículos que permite identificar la ubicación y la relevancia de baches, conductos y alcantarillas rotas para después compartir esta información en tiempo real a través de la ‘Nube’ con otros vehículos y con los organismos responsables de tráfico para que estos últimos puedan priorizar las reparaciones de los mismos.

Si un vehículo advierte a otros vehículos sobre daños importantes que se van a encontrar en su camino, el conductor alertado tiene margen para reducir la velocidad y evitar el peligro. De esta forma podría reducirse la probabilidad de pinchazos, daños en las ruedas y en el vehículo, así como posibles accidentes de tráfico.

El equipo de investigadores de Jaguar Land Rover trabaja también en el estudio de diferentes formas para compartir toda la información captada con las autoridades de tráfico para la futura reparación de las carreteras.

En cuanto a las aplicaciones móviles que hacen uso de los diferentes sensores existentes para objetivos similares a este proyecto, cabe destacar:

- **Street Bump**: Proyecto de la Oficina de Nueva Mecánica Urbana de la Alcaldía de Boston, cuya finalidad consiste en ofrecer ayuda a los residentes para mejorar las calles de su vecindario. Los voluntarios usan la aplicación móvil para recopilar datos de las condiciones de las carreteras mientras conducen. Boston agrega los datos a través de los usuarios para proporcionar a la ciudad información en tiempo real para solucionar problemas a corto plazo y planificar inversiones a largo plazo. [26]

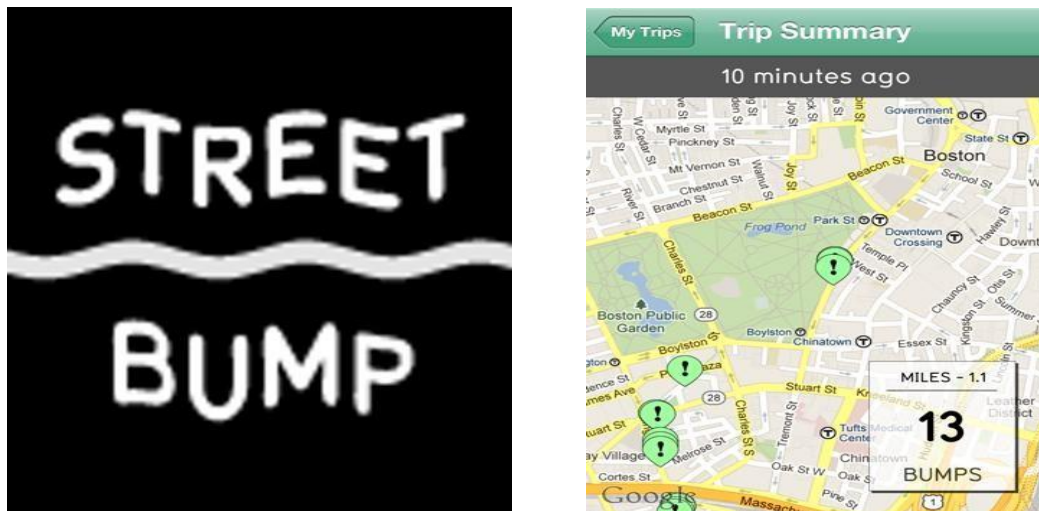


Fig 2.9 Logo e interfaz de usuario de la aplicación Street Bump [27]

- **Línea Verde**: Aplicación promovida por el ayuntamiento de Marratxí lanzada al mercado el pasado año, 2017. Como las aplicaciones anteriores, se encarga de encontrar esas carreteras en mal estado para su posterior resolución. De hecho, en el pasado año se arreglaron 137 baches durante el primer semestre del año.

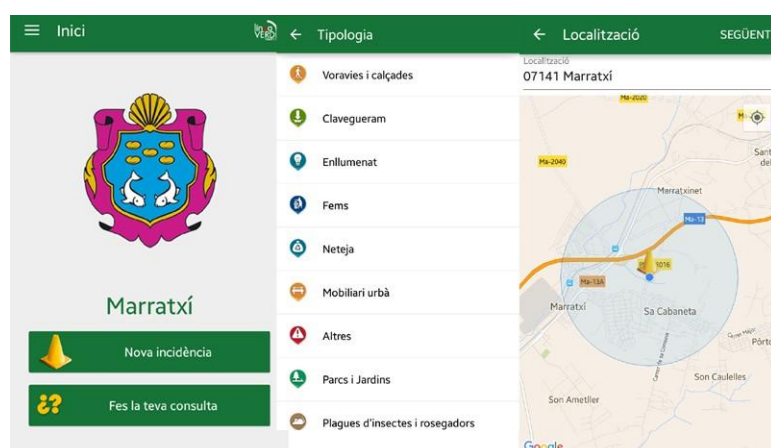


Fig 2.10 Interfaz gráfica Línea Verde [28]

- **Avisos Madrid:** Aplicaciones del Ayuntamiento de Madrid para comunicar posibles incidencias en relación a: mobiliario urbano, alumbrado, limpieza urbana y residuos, zonas verdes o arbolado, aceras y calzadas, vehículos abandonados etc.

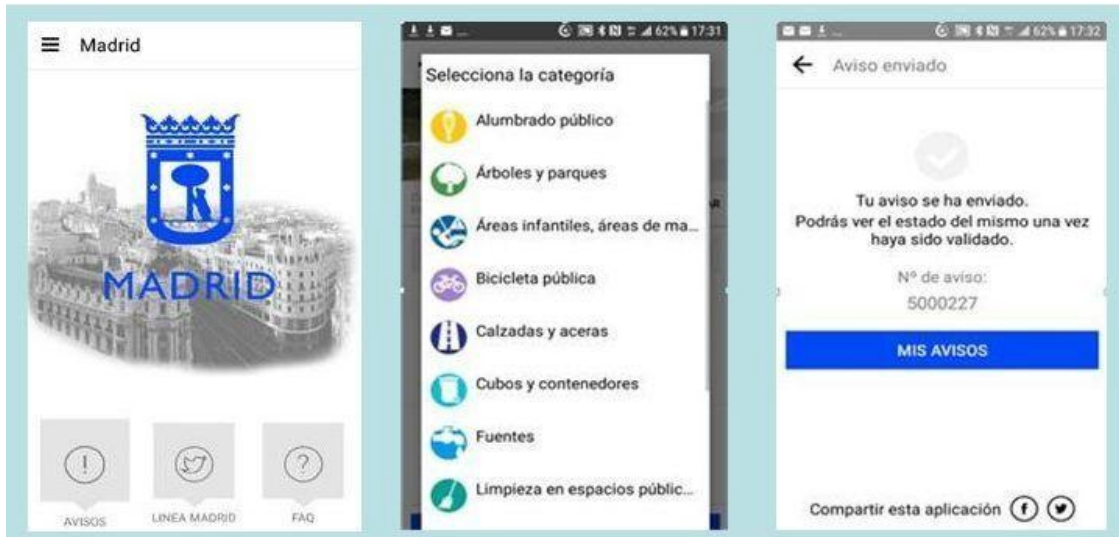


Fig 2.11 Logo e interfaz de usuario de la aplicación Avisos Madrid [29]

2.5. Trabajos de investigación previos.

La aplicación o proyecto que ha servido de inspiración para la elaboración y desarrollo de la aplicación TrafficSense es:

1. **Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile Smartphones:**

Debido al propio nombre, la app desarrollada en este trabajo se basa en una documentación de Microsoft. [4] En dicho documento se abordan más características de la que se trata en la aplicación creada. El proyecto de esta gran multinacional realiza diferentes recogidas de datos procedentes de distintos sensores que incorporan los dispositivos. En primer lugar se hace uso del sensor del GPS para activar la localización y el establecimiento de la ruta recorrida por cada vehículo. Mediante los diferentes dispositivos móviles existentes en las mismas redes viarias, obtiene datos acerca de la congestión del tráfico. Por otro lado, y de la misma forma que este trabajo, analiza los baches y resaltos por medio del sensor del acelerómetro. Haciendo uso de este mismo sensor, se establecen posibles puntos de la ruta donde se suceden frenazos bruscos para así aportar más información sobre el estado de la carretera actual o sus condiciones. La diferencia entre las dos detecciones anteriores consiste en el análisis de diferentes ejes cardinales (eje Y, para frenazos, eje Z para baches). Para finalizar, de los sensores propuestos por este documento, en este trabajo no participa el micrófono. Microsoft alega que otro medio para aportar más información sobre el estrés que puede tener una determinada carretera es analizando el nivel de presión sonora de la bocina del coche. [30]

2. **Aplicación Android para obtener información del estado de las carreteras:** En el año 2016 un compañero de la Universidad Carlos III trabajó en el desarrollo de un proyecto similar al documentado. El objetivo de su trabajo fin de grado era la detección de la congestión de vehículos en las carreteras. Para su elaboración hizo uso del acelerómetro del dispositivo móvil con su posterior análisis y establecimiento de umbrales de detección. [31]

2.6. Entorno socio-económico.

En la actualidad existen algunas campañas para concienciar a las personas a, ejercer el acto de la conducción en plenas condiciones y la detección de carreteras en mal estado. El motivo principal, promover la disminución de accidentes y víctimas mortales:

- **Comunidad de Madrid:** El Gobierno regional invertirá 60.5 millones de euros durante el periodo comprendido entre 2018-2020 para la mejora de firmes de Red Regional de Carreteras. El fin de esta inversión consiste en la mejora de las características de las carretas para evitar tanto accidentes como el deterioro de los vehículos. [32]
- **Ponle Freno:** Esta campaña promovía por el grupo audiovisual Atresmedia, landa una campaña donde buscan señales peligrosas. Pretende la colaboración ciudadana para detectar aquellas zonas que puedan ser peligrosas para la seguridad vial. [33]
- **DGT:** El ministerio del Interior junto con la DGT, presentó en verano de 2017 la campaña cuyo objetivo era concienciar a la sociedad sobre las consecuencias que tiene los diferentes actos en las carreteras. [34]

2.7. Conclusiones obtenidas en el estado del arte.

Tras lo documentado en este apartado se ratifica en la gran preocupación por el estado de las carreteras. Por este motivo, existen medios que colaboran y promueven soluciones a este problema que se asemejan a este proyecto:

- En el caso de Ford, el proyecto que propone se asemeja al desarrollado en este trabajo salvo por la posibilidad de realizar ajustes mecánicos en el vehículo tras el paso por un bache.
- El proyecto propuesto por Land Rover, al igual que el anterior trata de emendar estas anomalías, pero añade a esto, la capacidad de compartir información con los demás vehículo. Algo parecido se intenta implementar en este proyecto, recoger la información de la carretera e intentar compartirla con un servidor para alertar de lo sucedido
- De las aplicaciones narradas, las que comparten y guardan más relación son Street Bumps y Línea Verde. Al igual que TrafficSense tienen como propósito la colaboración ciudadana para solventar los problemas de las vías.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

En este capítulo se explica el desarrollo de la aplicación móvil implementada, sus funcionalidades y el estudio de cada uno de los elementos que participan en su elaboración.

3.1. Introducción a la aplicación.

Como ya se ha comentado a lo largo de este documento, esta aplicación, llamada TrafficSense, se destina a la detección de problemas en la red viaria. La supervisión de las distintas carreteras y las condiciones del tráfico se analizan desde un dispositivo móvil, Huawei P9 Lite, mediante la construcción de una App desarrollada en Android.

Para la obtención del fin deseado se recogen datos proporcionados por el sensor del acelerómetro a lo largo de una ruta previamente establecida por el usuario. Dichos valores son capturados en un archivo CSV (separado por comas) para su posterior análisis. Para la identificación de los umbrales de detección, los datos captados se transforman a un formato .xlsx (Microsoft Excel). El objetivo del análisis es poder realizar una detección inteligente e independiente a través de la App.

Tras determinar los umbrales de detección óptimos, antes de enviar los datos a un servidor, se realizan pruebas en la aplicación final para comprobar su correcto funcionamiento.

El proyecto aborda diferentes desafíos, incluidos la reorientación virtual del acelerómetro, que es arbitraria. Por otra parte, la detección de las distintas anomalías ya mencionadas. Además, se evaluará la efectividad de las funciones de detección en TrafficSense, en base a experimentos realizados en las carreteras de Madrid, en concreto en Pozuelo de Alarcón, Fuencarral y Majadahonda.

3.2. Arquitectura del sistema.

La arquitectura de la aplicación consta de 4 secciones diferentes que interactúan entre ellas. Esta conclusión se debe a la posibilidad de realizar sustituciones en alguna de ellas facilitando así las futuras tareas de desarrollo y mantenimiento.

- Interfaz de usuario: Primera sección donde el consumidor o cliente de la aplicación, visualiza y hace uso de las distintas funcionalidades de los elementos. Entre estos componentes cabe destacar:
 - Mapa: El usuario es capaz tanto de gestionar su propia ruta como visualizar los resultados tras las detecciones a tiempo real.
 - Almacenamiento de datos: El cliente puede introducir el nombre del archivo del viaje al inicio de la sesión.
 - Botones. Elemento para ejecutar funciones.
 - Mensajes en pantalla: Permite visualizar a tiempo real tanto las detecciones como cada vez que se almacenan los datos en el archivo.

- Funcionalidades: Parte donde se desarrollan las funcionalidades de cada elemento perteneciente a la interfaz gráfica. Estas funcionalidades son:
 - Seguimiento de la ubicación: Permite tener localizado el dispositivo móvil en todo momento. Es un objetivo fundamental de cara poder mostrar en pantalla los eventos sucedidos.
 - Lectura y almacenamiento de los datos del acelerómetro: Desde que el usuario presione el botón de comenzar hasta que decida guardar los datos, se almacenará en un archivo toda la información recogida por el sensor del acelerómetro.
 - Detección de anomalías y visualización: A raíz de los dos primeros apartados, si los datos recogidos cumplen los requisitos establecidos, se muestra en pantalla el resultado de las diferentes detecciones.
- Sistema operativo: Como se ha comentado a lo largo del documento, el desarrollo de la aplicación se está realizando sobre un entorno Android.
- Comunicación externa: Consistirá en el envío de los resultados obtenidos por la aplicación a la base de datos de un servidor desde la propia aplicación.

Para una mejor visualización y entendimiento de la arquitectura, se muestra a continuación el esquema explicado.

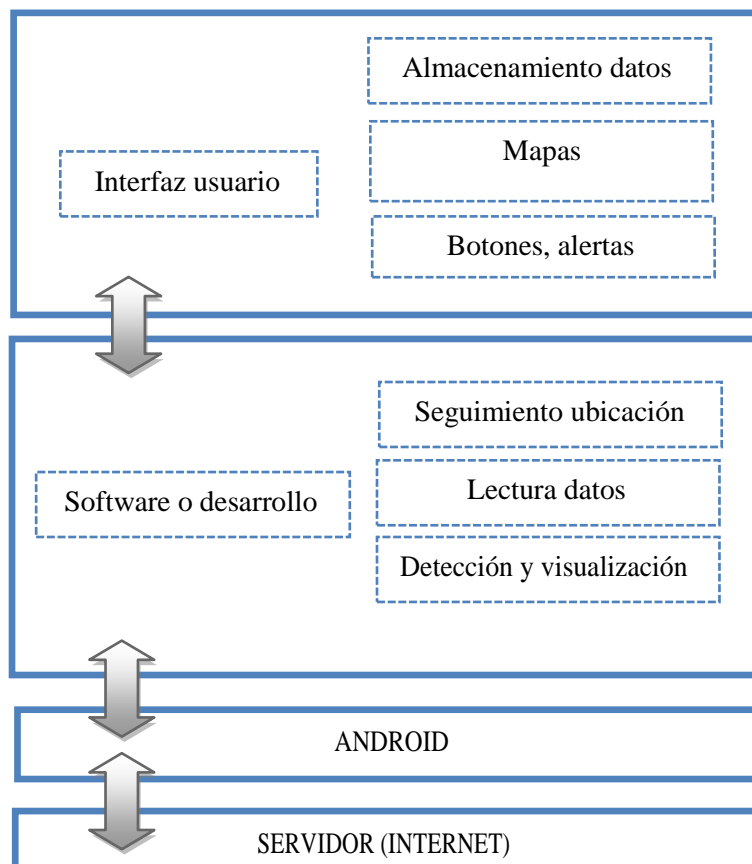


Fig 3.1 Arquitectura de la aplicación.

3.3. Tecnologías que participan en el desarrollo de la aplicación.

A lo largo del pasado capítulo, Estado del arte, se desarrolló una base teórica de los elementos utilizados a lo largo del proyecto. Sin embargo, en esta sección se describe su implementación y funcionalidad dentro de la aplicación.

3.3.1. Sensor del acelerómetro.

Los sensores de orientación y movimiento han cobrado una gran importancia en los teléfonos móviles, ya que permiten ejecutar acciones de gran relevancia. Entre las diferentes funciones, se destacan:

- La detección de la orientación del terminal para la posterior visualización de documentos o imágenes.
- Implementar aplicaciones de realidad aumentada combinando orientación y cámara.
- Aplicaciones de navegación con la brújula.

A continuación se explica con más detalle, el tipo de dato que se capta, con el sensor de aceleración, y su orientación.

- Acceso al tipo de sensor.

El acceso a los diferentes tipos de sensores, explicados en el Capítulo 2, se realiza a través de la clase *Sensor*. Para el desarrollo de la aplicación se implementa el siguiente tipo:

- TYPE_ACCELEROMETER: Acelerómetro de tres ejes, que facilita los datos acerca de la aceleración a la que se está sometida en los ejes x, y, z (en m/s^2). Dicho de otra forma, aporta información sobre la aceleración a la que está sometido el dispositivo móvil.

Estos datos, son recogidos en las variables “values”: [35]

- values[0]: Aceleración en el eje X: Muestra un valor positivo el dispositivo se desplaza hacia la derecha y negativo para el caso opuesto
- values[1]: Aceleración en el eje Y: Muestra un valor positivo si el terminal es desplazado hacia arriba y negativo hacia abajo.
- values[2]: Aceleración en el eje Z. Muestra un valor positivo si el dispositivo se desplaza hacia arriba (hacia la pantalla) y negativo en el caso contrario.

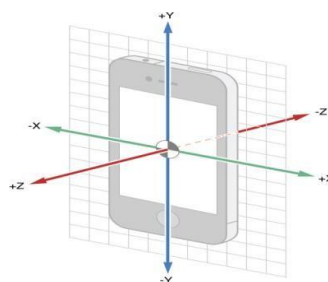


Fig 3.2 Ejes del sensor del acelerómetro de un dispositivo móvil. [36]

Para obtener acceso a los sensores restante se realiza la llamada a cada tipo de la siguiente forma:

- TYPE_GYROSCOPE: Para obtener datos del giroscopio
- TYPE_MAGNETIC_FIELD: Captura de datos acerca de los campos magnéticos
- TYPE_ORIENTATION: Brújula.
- TYPE_PROXIMITY: Información de proximidad.
- TYPE_TEMPERATURE, TYPE_PRESSURE y TYPE_LIGHT: Datos sobre la temperatura, presión y luminosidad del ambiente.

- Orientación del acelerómetro.

En general, el teléfono y sus ejes (x, y, z) podrían estar en una orientación arbitraria con respecto al vehículo y sus ejes (X, Y, Z)⁴. Además, esta orientación puede sufrir variaciones con el tiempo a medida que el teléfono se mueve.

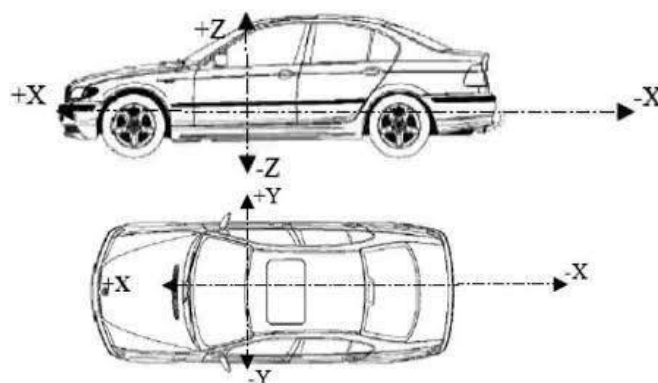


Fig 3.3 Sistema de orientación de los vehículos.

Si un dispositivo que se encuentra desorientado, dificulta las mediciones realizadas interfiriendo en los datos obtenidos de las condiciones de la carretera y el tráfico. Por ejemplo, si el eje z (eje del dispositivo móvil) se alinea con X (eje que mide acciones de aceleración y desaceleración brusca del vehículo) podría llegar a dar equívoco con baches en la carretera (es decir, aceleración vertical) donde no los hubiera. Dicho lo cual, antes de hacer uso de los datos del acelerómetro es importante reorientarlo para compensar su posible desviamiento. Como consecuencia de este hecho, se define una orientación canónica de (x, y, z) como la que corresponde a X, Y, Z.

⁴ Los ejes cardinales de un dispositivo móvil se identifican con letras minúsculas (x, y, z) y los ejes del vehículo con letras mayúsculas (X, Y, Z).

○ **Estimación pre-rotación e inclinación**

Cuando el acelerómetro está estático o en movimiento constante, la única aceleración que tiene es la debida a la gravedad, a lo largo de Z. Hay que recordar que los acelerómetros informan la fuerza de la fuerza campo, entonces $\mathbf{aZ} = \mathbf{1g}$ a pesar de que el acelerómetro está estacionario. La operación de inclinación es la única que modifica la orientación de z con respecto a Z. Entonces $\mathbf{az} = \mathbf{aZcos}$ (inclinación). Como $\mathbf{aZ} = 1$, se obtiene:

$$\theta_{inc} = \cos^{-1}(\mathbf{az})$$

Ecuación 1. Fórmula ángulo de inclinación

Pre-rotación seguido de inclinación da como resultado un valor distinto de cero en y debido al efecto de la gravedad. Dando como resultado:

$$\Phi_{pre} = \tan^{-1}\left(\frac{\mathbf{ay}}{\mathbf{az}}\right)$$

Ecuación 2. Fórmula de ángulo de pre-rotación

Para estimar la inclinación y el uso previo de las ecuaciones 1 y 2, se identifican los períodos en los que el teléfono se encuentra estático (por ejemplo, en un semáforo o en un atasco) o en movimiento constante por medio del GPS para estimar la velocidad. Sin embargo, desde un punto de vista más simple, este hecho consiste en el empleo de los valores medianos de \mathbf{ax} , \mathbf{ay} y \mathbf{az} durante un pequeño periodo temporal de ventana. El valor medio sobre una ventana de esta longitud resulta notablemente estable, incluso durante una unidad con baches. A modo de ejemplo, si el vehículo se levanta como consecuencia de un bache, provoca un aumento en la fuerza de gravedad volviendo a descender muy pronto y causando un aumento en la dirección inversa.

○ **Estimación post-rotación**

La post-rotación se produce sobre el eje Z, por lo que el efecto de la gravedad no tiene impacto sobre él. Se debe buscar una fuerza que no sea paralela al eje Z, para poder estimar el valor del ángulo ψ_{post} . De forma práctica es aconsejable tener a disposición un campo de fuerza en una dirección ortogonal al eje Z.

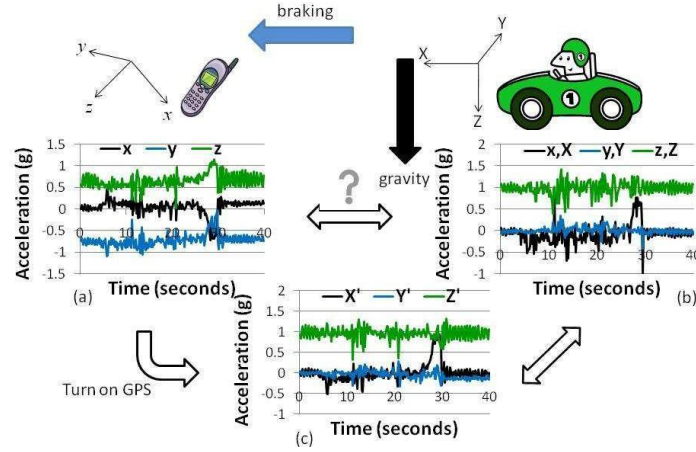


Fig 3.4 Reorientación virtual de un acelerómetro desorientado. (a) Muestra las mediciones realizadas en un acelerómetro desorientado, no coincide con las medidas que se muestran en (b), que corresponden a un acelerómetro bien orientado. Sin embargo, después de que el acelerómetro desorientado haya sido virtualmente reorientado, se corrigieron las medidas que se muestran en (c) coincidiendo bastante bien con las de (b). [4]

A través del sensor GPS, y los datos provistos por el mismo, se detecta un momento de resalto en el vehículo y se capturan los valores de ax , ay , az durante al menos 3 segundos después de que este ocurra. Con estos datos podremos proceder al cálculo de Ψ_{post} . [4]

$$\Psi_{\text{post}} = \tan^{-1} \left(\frac{-ax \sin(\Phi_{\text{pre}}) + ay \cos(\Phi_{\text{pre}})}{(ax \cos(\Phi_{\text{pre}}) + ay \sin(\Phi_{\text{pre}})) \cos(\theta_{\text{inc}}) - az \sin(\theta_{\text{inc}})} \right)$$

Ecuación 3. Fórmula del ángulo de post-rotación

A partir de estos ángulos, y teniendo en cuenta la formulación de Euler, mencionada anteriormente, se dispone de todo lo necesario para calcular la matriz de rotación. Esta matriz representa una rotación en el espacio euclídeo.

Por definición, esta matriz de rotación cumple con el principio de ortogonalidad y de determinante con valor uno. El cálculo de la matriz de rotación está basado en las fórmulas del libro *Dynamics of Tree-Type Robotic Systems* : [6] [4]

$$R_{\Phi} = \begin{pmatrix} \cos(\Phi_{\text{pre}}) & \sin(\Phi_{\text{pre}}) & 0 \\ -\cos(\Phi_{\text{pre}}) & \cos(\Phi_{\text{pre}}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ecuación 4. Matriz para el ángulo de pre-rotación

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \cos(\psi_{\text{post}}) & \sin(\psi_{\text{post}}) & 0 \\ \sin(\psi_{\text{post}}) & \cos(\psi_{\text{post}}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ecuación 5. Matriz para el ángulo de post-rotación

$$\mathbf{R}_{\psi} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_{\text{inc}}) & 0 & -\sin(\theta_{\text{inc}}) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta_{\text{inc}}) & 0 & \cos(\theta_{\text{inc}}) \end{pmatrix}$$

Ecuación 6. Matriz para el ángulo de inclinación

Tras la obtención y cálculo de las matrices de orientación, a través de su producto se obtiene la matriz de orientación final:

$$\mathbf{R}_F = \mathbf{R}_{\psi} * \mathbf{R}_{\psi} * \mathbf{R}$$

Ecuación 7. Cálculo de la matriz de rotación

Por último, para adquirir la orientación entre el dispositivo móvil y el vehículo se procede a la realización de la siguiente formulación.

$$\begin{pmatrix} ax \\ ay \\ az \end{pmatrix} = \mathbf{R}_F * \begin{pmatrix} ax \\ ay \\ az \end{pmatrix}$$

Ecuación 8. Cálculo de la matriz de rotación

3.3.2. Google Maps

Una vez estudiado y comprendido el funcionamiento del sensor del acelerómetro y realizadas las operaciones alusivas para su correcto funcionamiento, se procede a conocer lo relacionado con la localización GPS.

Este tipo de sensor será de gran utilidad para el establecimiento de las diferentes rutas que se desee realizar. Para esta ocupación se emplea la conocida API de Android, Google Maps.

Disponer de Google Maps en una aplicación Android se realiza a través de un “fragment” o fragmento en el documento XML de la actividad correspondiente. La principal funcionalidad de este tipo de sensor, como ya se ha mencionado, es la geolocalización. [37]

La clase principal en la que se fundamenta Google Maps es *LocationManager* que dispone de acceso a la ubicación del sistema por medio de actualizaciones temporales de la localización geográfica.

En el desarrollo de este proyecto, se precisa la intervención de este sensor para obtener la ubicación actual del usuario y el establecimiento de diferentes rutas. El conocimiento de la ubicación es imprescindible (de cara a la aplicación final) para mostrar a tiempo real en qué puntos geográficos del mapa, a lo largo del trayecto establecido, se encuentran las imperfecciones en la vía.

En la figura siguiente se muestra la interfaz gráfica de TrafficSense con el fragmento de Google Maps y un trayecto entre un punto origen (verde) y un destino (azul).

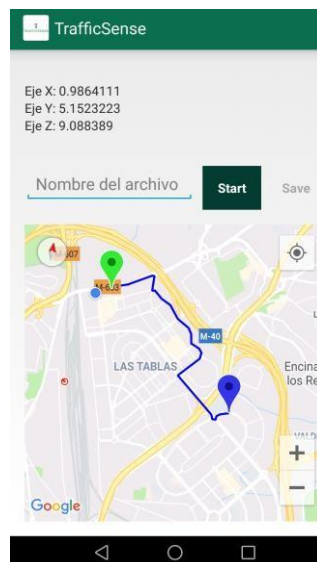


Fig 3.5 Establecimiento de una ruta.

3.4. Activities y clases implementadas

Una activity o actividad es un elemento contenido en una aplicación que dispone una pantalla donde cada usuario interactúa con ella. Cada una de las activities que participan en una aplicación tiene asignada una ventana donde se diseña la interfaz de usuario. [12]

Esta primera aplicación se crea como versión beta de la aplicación final (Capítulo 4). Aunque la funcionalidad es la misma en las dos aplicaciones, en esta primera cabe la necesidad de introducir elementos (prescindibles para un cliente) para la elaboración un análisis más detallado. La aplicación del desarrollador (para el análisis y obtención de umbrales) dispone de cuatro activities y dos clases java.

3.4.1. MainActivity.java

Primera de las activities que aparecen al iniciar la aplicación. En esta pantalla, la interfaz con el usuario es simple ya que la conforma una ImageView con el logo de la aplicación y un botón de inicio.

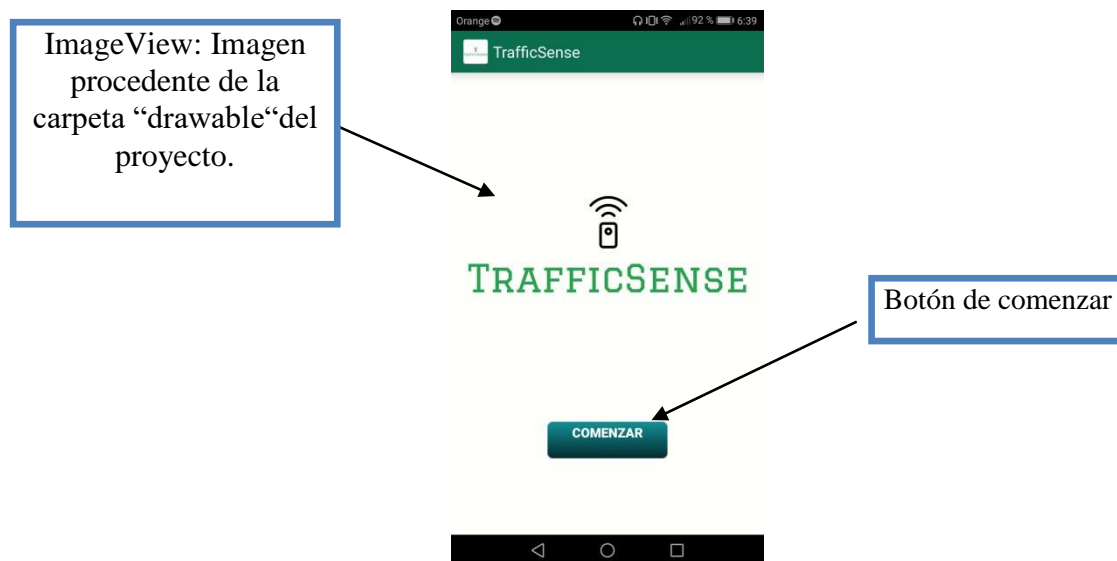


Fig 3.6 Interfaz de usuario de Main_Activity.java

3.4.2. Analyse_data.java

La interfaz de usuario de esta actividad está dispuesta de: un EditText donde el propio desarrollador introducirá el archivo CSV para almacenar los datos captados por el acelerómetro (mostrados también en esta actividad).

Para que esta captura se haga efectiva, en el lateral derecho se dispone un botón que da acceso a la siguiente actividad (donde se almacenan los datos). Por último, se encuentra un fragmento con Google Maps, donde se puede establecer la ruta entre dos posiciones del mapa. La implementación de esta acción se realiza por medio de otra clase, JsonParse, la cual se explicara posteriormente.

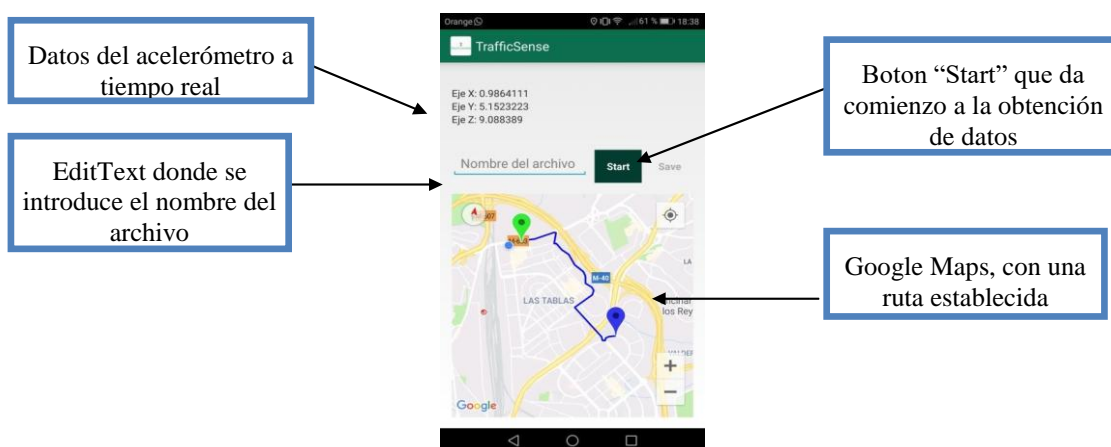


Fig 3.7 Interfaz de usuario de analyse_data.java

3.4.3. SavingAccelerometerData.java:

Esta activity es la encargada de almacenar los datos obtenidos por el acelerómetro en un archivo CSV, previamente nombrado. Este archivo será almacenado automáticamente en una carpeta llamada TrafficSense en la tarjeta externa SD.

Para poder acceder a la memoria externa se deben realizar dos pasos fundamentales:

- Obtención de los permisos para poder escribir en el almacenamiento externo.
- Establecer el acceso tanto a la memoria externa como interna, con una posterior comprobación la existencia de la primera.

Por otra parte, se activa el botón de “save” para guardar todos estos datos y poder enviarlos con la siguiente actividad.

La interfaz de usuario de esta sección se muestra a continuación.

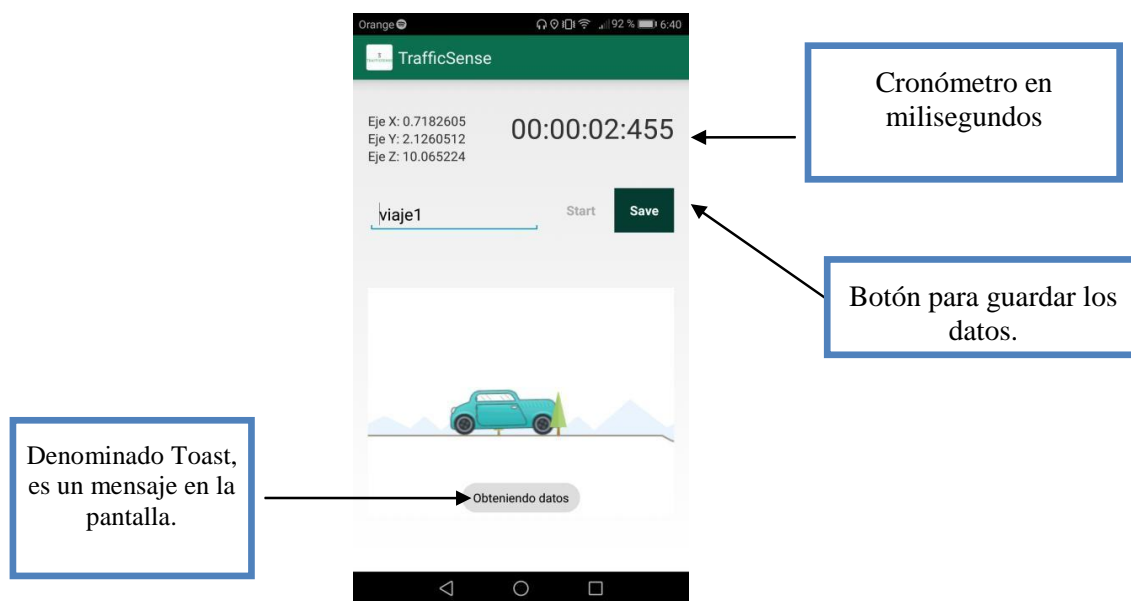


Fig 3.8 Interfaz de usuario de savingAccelerometerData.java

3.4.4. ThanksForUsing.java

Ultima de las actividades que participan en la aplicación. Es en este punto del proyecto donde se envían los datos para su posterior análisis, el cual se detallará en el siguiente capítulo.

La interfaz de usuario se conforma por tres ImageView que actúan como botones. Las funcionalidades de cada una de ellas se explican en la figura siguiente.

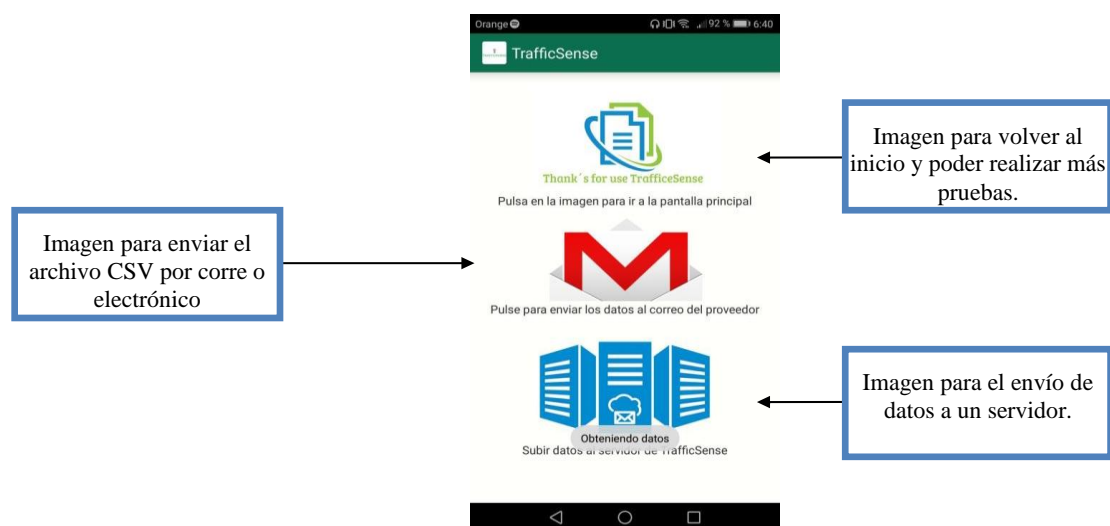


Fig 3.9 Interfaz de usuario de thanksForUsing.java

3.4.5. Otras clases.

Recordando el inicio del apartado, se comentó que la aplicación estaba formada por 4 actividades y dos clases. Estas dos últimas clases son:

- Cronometro: Clase cuya finalidad consiste en la implementación del cronómetro.
- JsonParse: Clase cuya funcionalidad es realizar un parsing dentro del archivo Json (Javascript Object Notation) que ofrece la API de Google Maps.

Este archivo consta de objetos formados por atributos clase-valor los cuales se parsearán y serán interpretados en forma de objeto Java, para integrarlos correctamente en la interfaz de usuario. Esta interpretación se realiza con existo a través de la clase JsonReader.

3.5. Servidor

Durante este apartado se explicará el desarrollo de la interfaz diseñada y la metodología utilizada para elaborar un servidor.

La plataforma que se ha utilizado para elaborar esta herramienta ha sido Xampp. Es un paquete Apache cuya función es la gestión de base de datos MySQL, el servidor web Apache y lenguajes script PHP (Hypertext Pre-Processor) y Perl. Actualmente Xampp se utiliza como servidor web debido a la gran seguridad que garantiza.

- Panel de control

El servidor Xampp dispone de un panel de control (Control Panel v3.2.2), como se puede apreciar en la Fig.3.7, donde se muestran todos los componentes instalados.

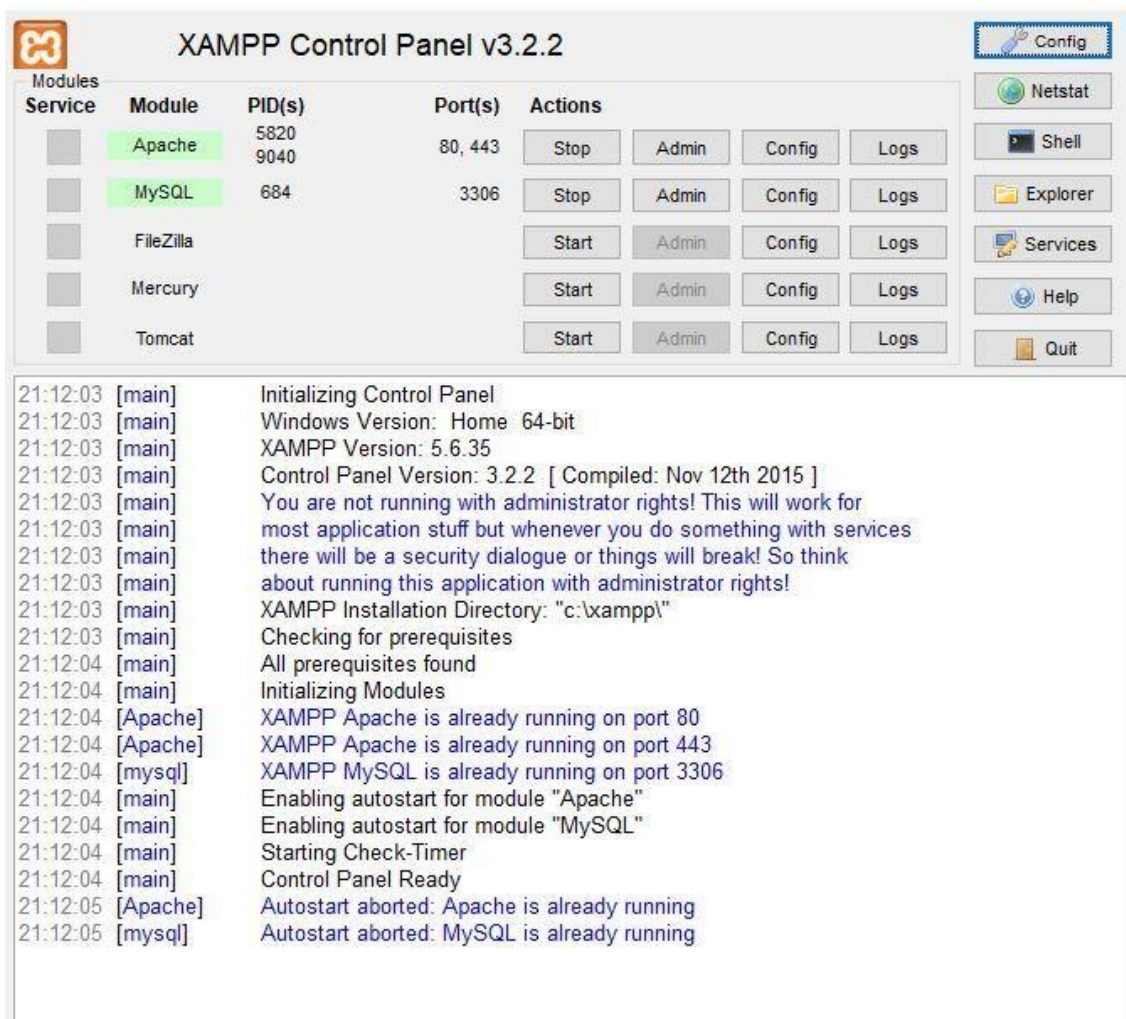


Fig 3.10 Panel de Control Xampp

Para iniciar el servidor, en primera instancia se debe activar el módulo Apache. Tras esto, se selecciona la base de datos que se desea emplear, en concreto para el desarrollo de este proyecto se hizo uso de MySQL.

- Gestor phpMyAdmin

Finalizados los ajustes en el panel de control, se procede a la creación de la base de datos en el gestor phpMyAdmin (Figura 3.8)



Fig 3.11 Gestor phpMyAdmin

Esta base de datos, como detalla la imagen anterior, se denomina dgt, con cotejamiento utf-8 (8-bit Unicode Transformation Format)⁵. Una vez creada, se procede a la construcción de la tabla con sus respectivas columnas. Estas columnas constituyen a cada uno de los elementos que se quiere captar y almacenar desde la aplicación:

- Id: Será una variable autoincrementable, es decir, a medida que se introducen datos en la tabla de la base de datos, esta se actualiza automáticamente aumentando una posición.
- Origen: Punto inicial de donde parte el usuario
- Destino: Punto final del camino
- Número de baches: Se pretende enviar el número de baches que se encuentran tras la realización de una ruta determinada.

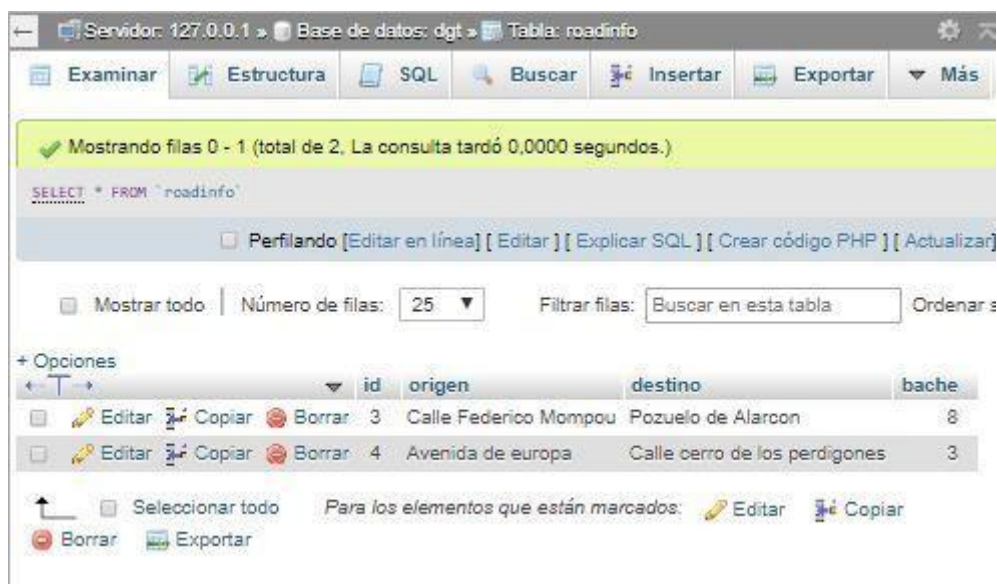


Fig 3.12 Tabla roadinfo de la base de datos.

- Envío de datos desde la aplicación móvil.

Para finalizar este proceso se comienza a establecer la comunicación entre el dispositivo móvil y esta base de datos. Para poder realizar el envío, primero se debe configurar dos archivos .php:

- Main.php: Crea el método para registrar una sentencia SQL.

Para que el registro sea el correcto se debe de configurar previamente la función de registro con los siguientes datos: dirección IPv4 del ordenador del desarrollador, el puerto de conexión (si observamos la Fig.3.6, el puerto de conexión es el 3306) y el nombre de la tabla donde se quieren almacenar los datos, en este caso se denomina “roadinfo”.

⁵ Es un formato de codificación de caracteres Unicode haciendo uso de símbolos de diferentes longitudes.

- Save.php: Archivo que junto con la clase anterior, trata de enviar a la base de datos los elementos que se desea almacenar. Estos elementos son los ya mencionados: origen, destino y número de baches.

Tras esta configuración y el posterior desarrollo surgen algunos problemas de conexión entre el dispositivo y la base de datos. Este hecho, provoca que la subida de estos datos a la base datos sea muy poco robusta.

3.4. Diagrama de flujos.

Toda persona que intente realizar la actividad de programar o elaborar un proyecto debe realizar en primera instancia, un esquema que sirva de orientación.

A modo de breve definición, un diagrama de flujo es una aproximación inicial de las funciones que se van a llevar a cabo antes de la ejecución de un proyecto.

Los esquemas que se ilustran a continuación muestran, tanto un diagrama de flujo general de la aplicación como de las actividades que participan.

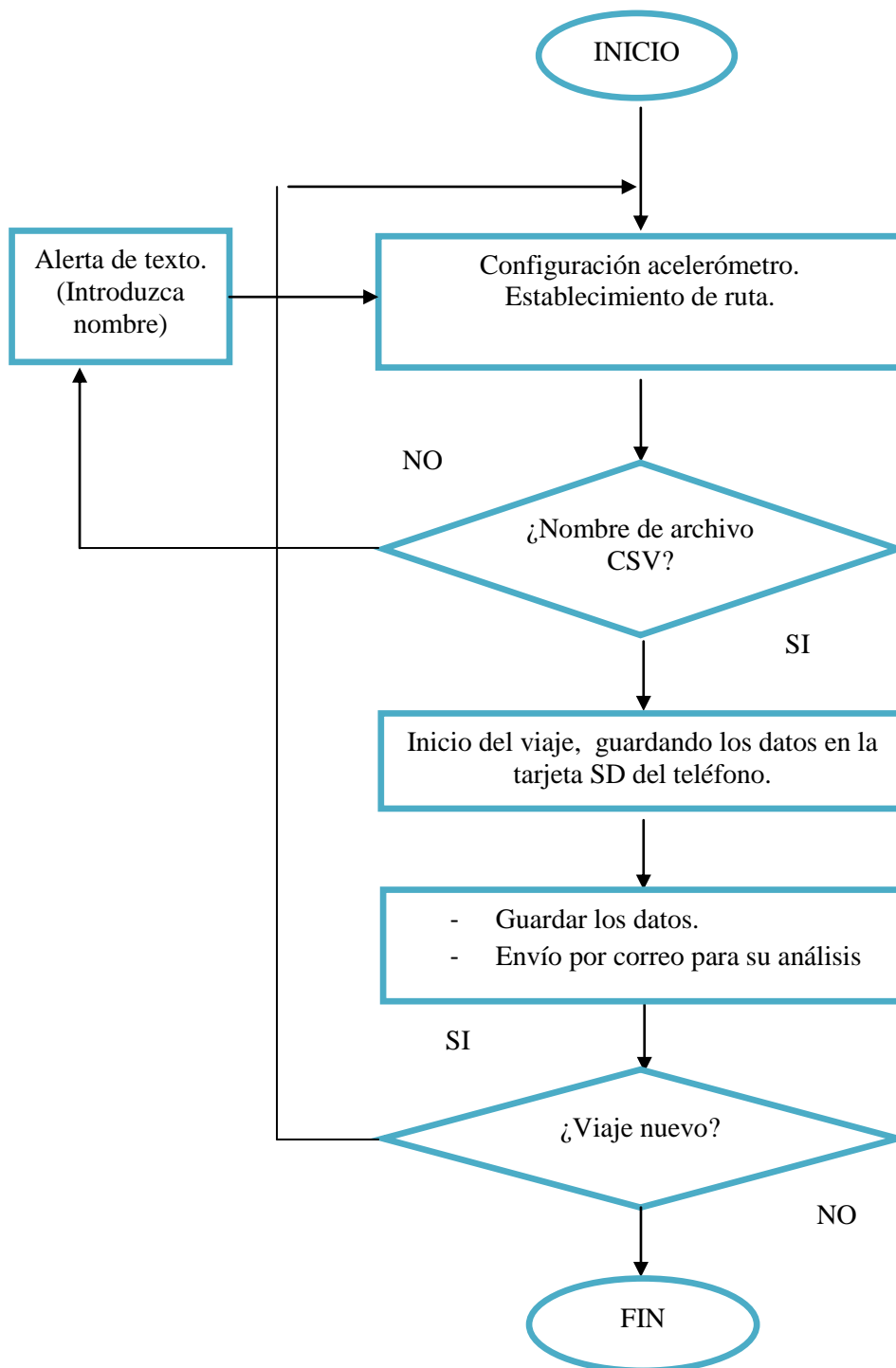


Fig 3.13 Diagrama de flujo general de la aplicación

3.4.1. Diagrama de flujo de Main_Activity

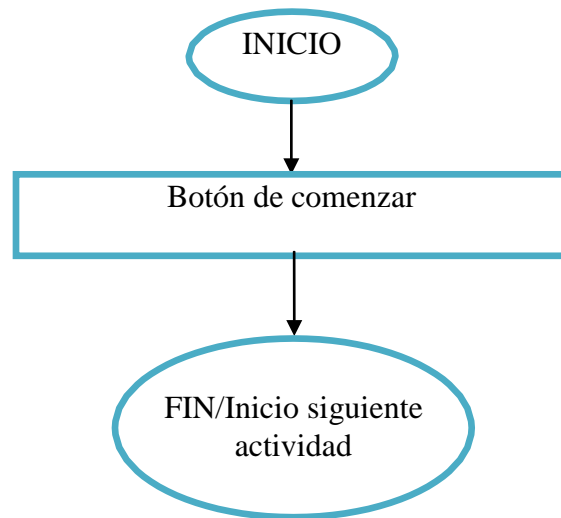


Fig 3.14 Diagrama de flujo Main_Activity.

3.4.2. Diagrama de flujo de analyse_data

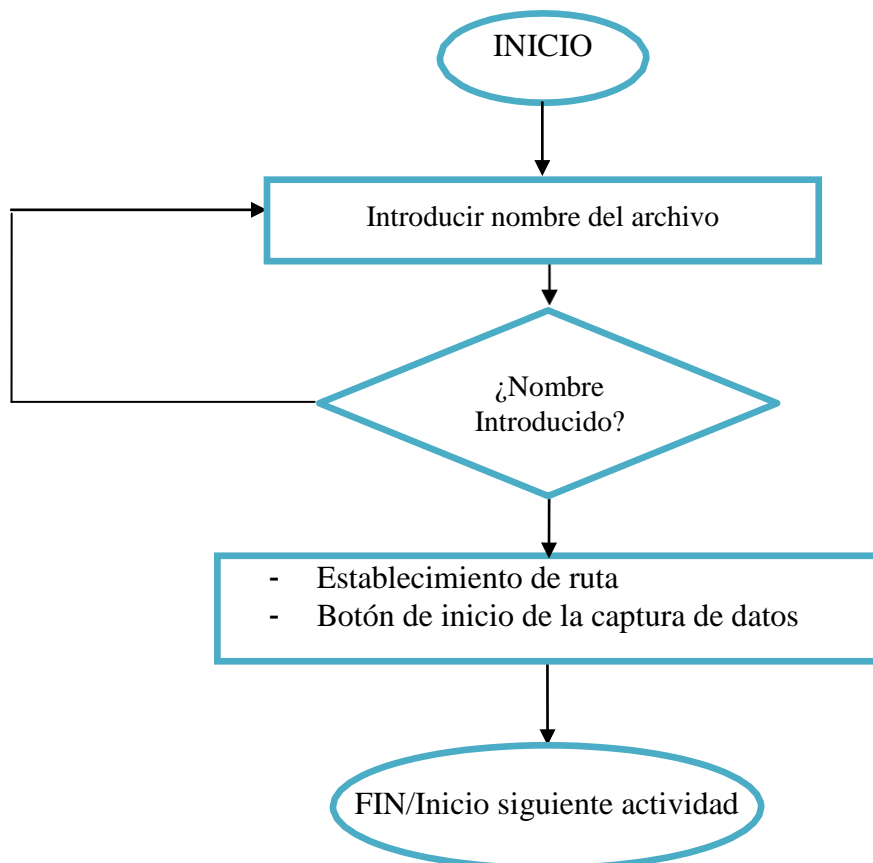


Fig 3.15 Diagrama de flujo detección de baches.

3.4.3. Diagrama de flujo de savingAccelerometerData

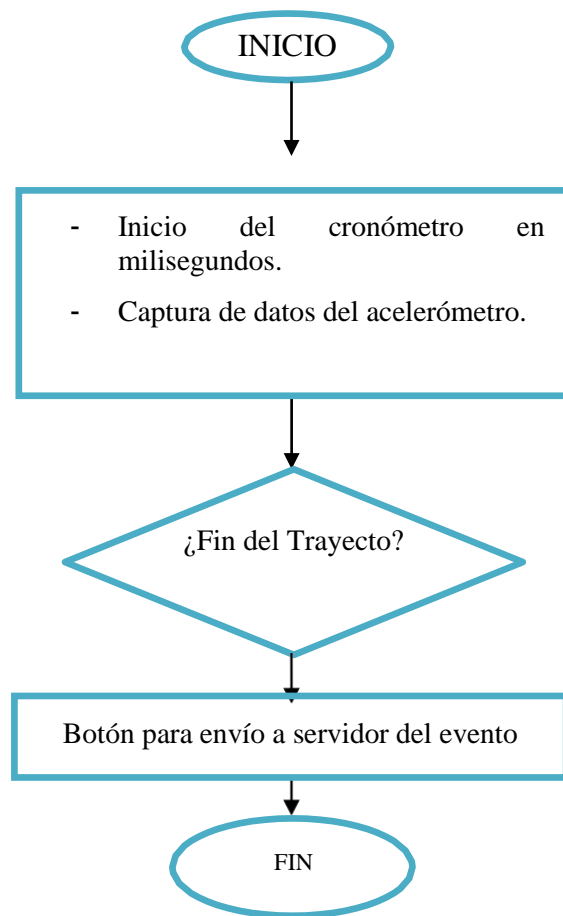


Fig 3.16 Diagrama de flujo detección de baches.

3.4.4. Diagrama de flujo de thanksForUsing

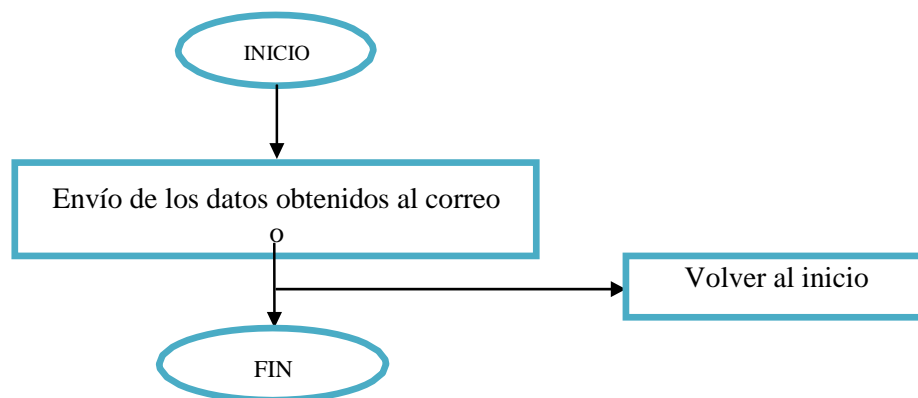


Fig 3.17 Diagrama de flujo detección de baches.

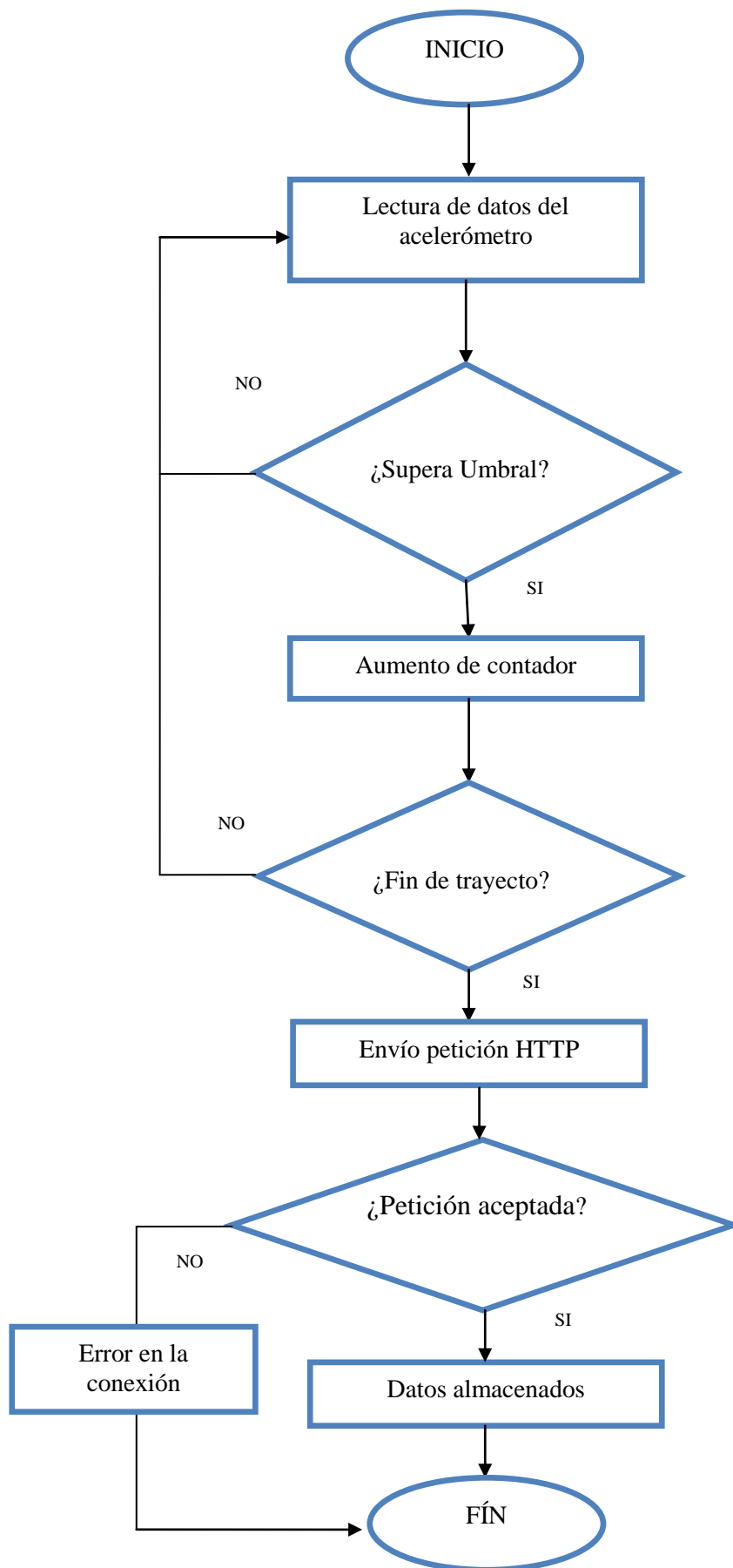


Fig 3.18 Diagrama de flujo detección de baches.

4. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

A lo largo del documento se ha hecho mención de la aplicación desde el punto de vista técnico y teórico. Debido a esto, a lo largo este capítulo se pone a prueba el correcto funcionamiento (con un dispositivo Huawei P9 Lite actualizado en su última versión) sobre lo explicado en pasados capítulos. Además, se abordará una explicación detallada de los pasos seguidos para cumplimentar los objetivos deseados.

4.1. Evaluación de pruebas

Para el desarrollo de las pruebas y establecimiento del umbral de detección óptimo se han seguido dos procedimientos:

- El primero de ellos consiste en el estudio del sensor del acelerómetro en un entorno plano con el objetivo de realizar posteriores comparaciones con las fases siguientes.
- El segundo consistirá en la realización de pequeñas rutas por aquellas carreteras donde se encuentran resaltos o baches para instaurar el umbral óptimo.

Su cálculo se obtiene con pequeños trayectos para que la detección sea más visual y precisa. Posteriormente, a medida que se va concretando el umbral, se comienza a realizar trayectos más largos para observar el correcto funcionamiento.

4.1.1. Pruebas en llano

Las pruebas sobre una superficie plana favorecen el estudio y cálculo de los umbrales que se desean. Este hecho se promovió para determinar en primera instancia los valores en reposo del sensor, y acto seguido comparar con las gráficas de cualquier trayecto. De este modo, se simplifica el proceso y el umbral final se concretará de forma más eficaz.

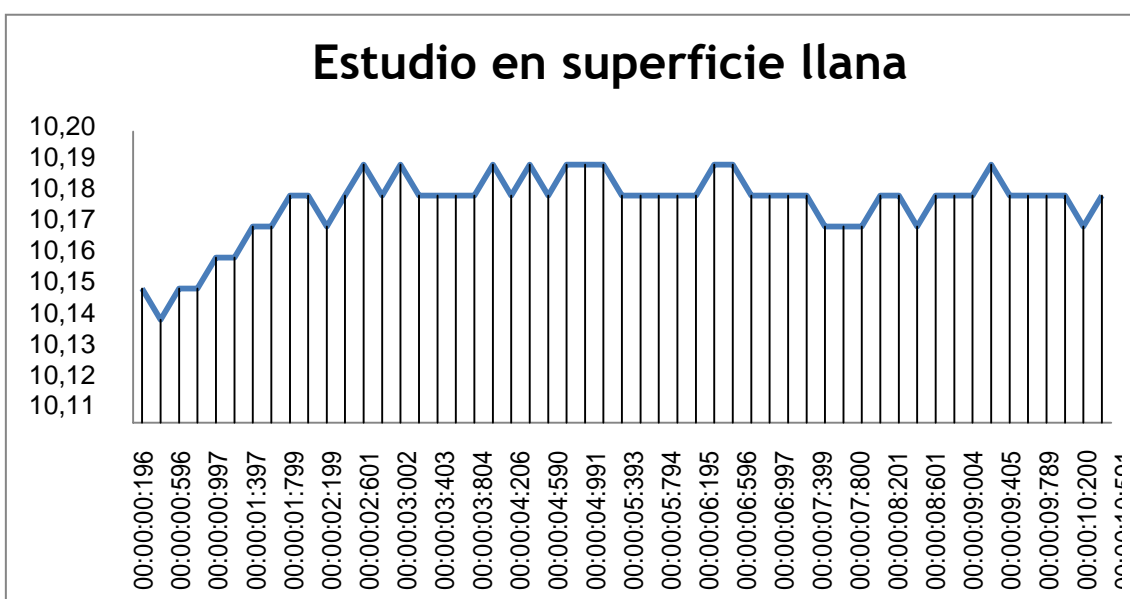


Fig 4.1 Datos obtenidos sobre una superficie plana

En la imagen anterior se observa que los valores del sensor en completo reposo están comprendidos entre los intervalos de 10.14 y 10.19 más o menos.

Para una mayor precisión se establece a este reposo un margen de error de ± 0.5 . Es decir, se determina que los valores en reposo irán comprendidos entre 10.4 y 9.6. Este margen determina las posibles variaciones que pueden sufrir estos valores de reposos como consecuencia de factores externos a la carretera como por ejemplo, la vibración que sufre el dispositivo por la situación dentro del vehículo o movimientos propios del que atribuya el usuario.

En base a los datos que ofrece la Figura 4.1 y junto con el movimiento que el vehículo realiza tras el paso por alguno de los resaltos o baches que se suceden en las carreteras, se elabora un par de suposiciones, que se muestran en las Figuras 4.2 y 4.3:

- En un badén o “guardia tumbado” el vehículo realiza un primer movimiento de elevación (pendiente positiva) y otro de inclinación inversa (pendiente negativa) al salir del bache como se muestra en la imagen. Por lo tanto los datos provenientes del acelerómetro al paso por este tipo de resalto, deberán sufrir en su inicio un decrecimiento de los valores.



Fig 4.2 Pendiente tras el paso por un badén

- Para el caso de un bache, el movimiento realizado por el vehículo es inverso al caso anterior, siendo también contraria la variación de los ejes del sensor.



Fig 4.3 Pendiente tras el paso por un bache

4.2. Pruebas

Durante el desarrollo de este apartado, se explican las pruebas realizadas para el establecimiento del umbral óptimo.

4.2.1. Primeras pruebas

Como se ha comentado en el apartado anterior, se distinguen dos tipos diferentes de anomalías en las carreteras: La empleada en las ciudades para aminorar la marcha de los vehículos y evitar así la circulación a altas velocidades (badenes) y la segunda propia del desgaste del asfalto. Estos últimos, son el tema primordial del trabajo por razones de visibilidad y posibles daños tanto personales como automovilísticos.

La primera evaluación se realiza en Majadahonda, donde abundan los badenes de gran tamaño (como se muestra a continuación):



Fig 4.4 Badén de cemento situado en Majadahonda

Tras el paso del vehículo por dicho obstáculo, a través de la aplicación desarrollada se obtienen los siguientes datos:

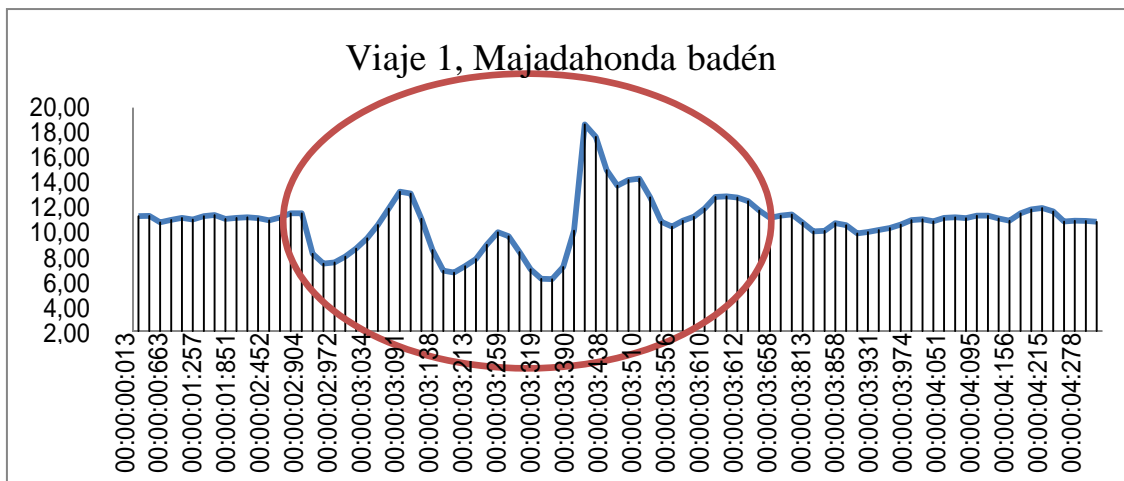


Fig 4.5 Datos obtenidos durante el primer viaje

A raíz de los datos captados, se visualiza que el paso por un badén inicialmente produce decrecimiento de los valores y un aumento a su salida. Por ello, comprobar este hecho y poder establecer un primer umbral de detección, en la Figura 4.6 se realiza una comparativa entre las graficas de la Figura 4.1 y la Figura 4.5.

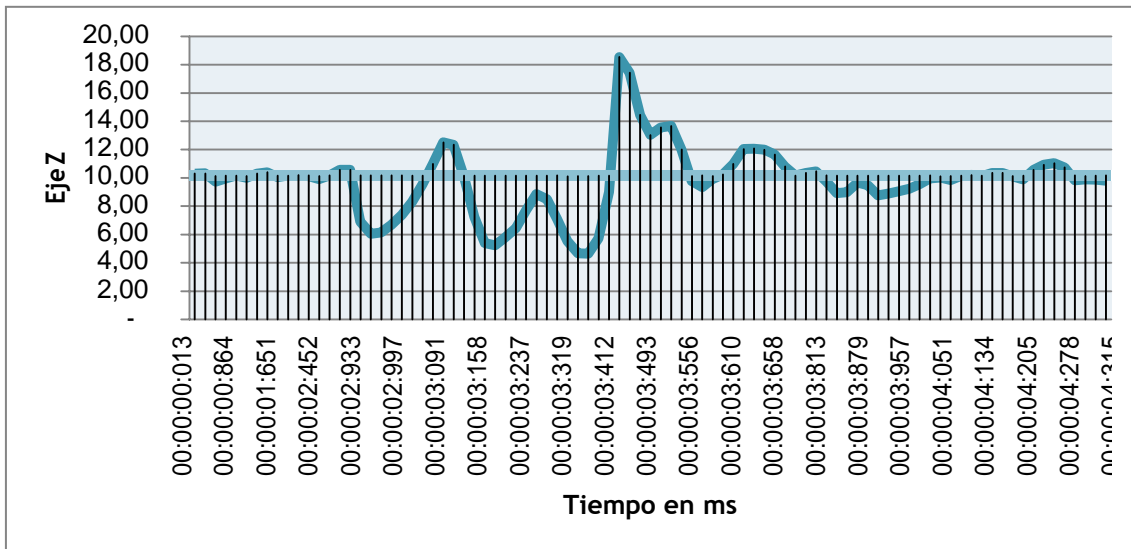


Fig 4.6 Comparación entre una superficie plana y el primer trayecto

En la Figura 4.6 se distinguen dos rutas. La curva de color azul claro, muestra los datos del sensor en llano y la curva de color azul oscuro es el primer trayecto realizado.

Visualizando esta gráfica se aprecia que en el intervalo de tiempo comprendido entre 00:00:02:933 y 00:00:03:537 se genera una variación relevante de los datos (como consecuencia del paso por dicho badén). Por ello, ante este evento se distinguen dos aspectos:

- Entre el instante de tiempo 00:00:02:933 hasta 00:00:02:977 se contempla un decrecimiento de los valores debido a la subida inicial ante este resalto.
- Entre el instante de tiempo 00:00:03:431 hasta 00:00:03:537 se produce un aumento considerable al bajarse del badén.
- Los instantes intermedios muestran la variación de datos en el camino hacia del estado de reposo.

Acorde con los datos analizados, se puede elaborar una primera aproximación. Se propone establecer un umbral inferior de 8.50 y 11.50 como límite superior para la detección de este tipo de resaltos. Para la captura de este evento, cualquiera de estos umbrales debe de ser sobrepasado.

4.2.2. Pruebas para el establecimiento del umbral óptimo.

Tras las primeras pruebas realizadas y siguiendo con las fases comentadas al inicio del capítulo, se procede a la ejecución de un viaje de mayor distancia para fijar el umbral más óptimo y preciso. Para su consecución, se establece una segunda ruta:

- **Viaje 2:** Este trayecto se sucede en las carreteras de Pozuelo de Alarcón. En concreto, desde la Calle Caridad 18 hasta la Estación de Renfe de Pozuelo de Alarcón (Figura 4.7).



Fig 4.7 Imágenes del segundo trayecto realizado

Una vez finalizado y enviados los datos por email sobre el trayecto, a través de TrafficSense, se obtienen los siguientes datos.

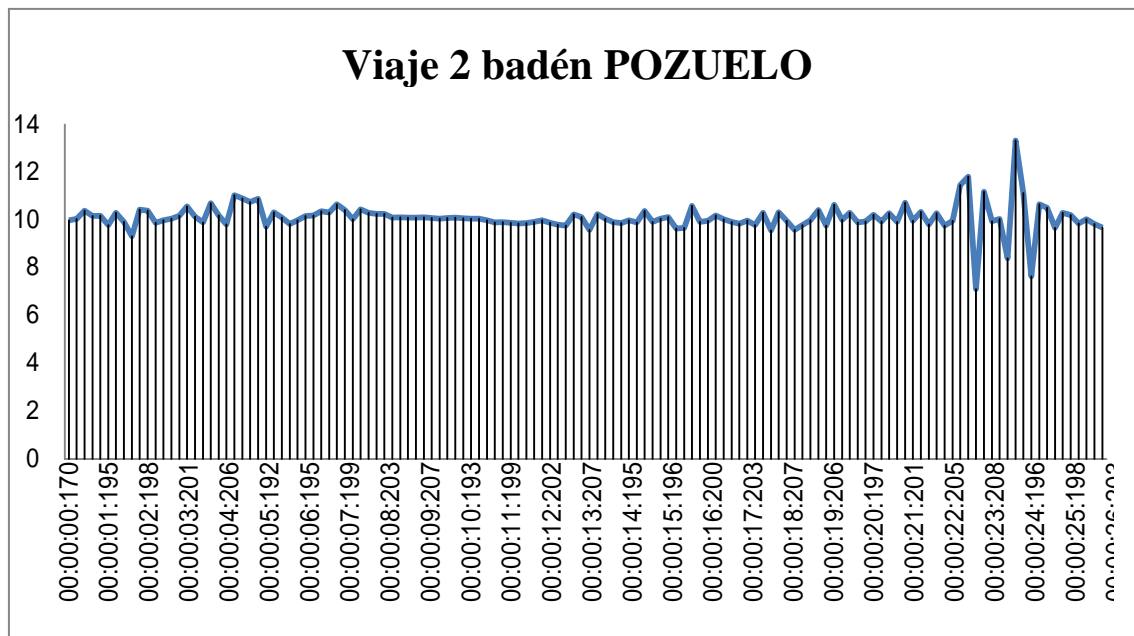


Fig 4.8 Datos obtenidos durante el segundo trayecto

Tal y como se aprecia en la imagen anterior, en el segundo 23 del trayecto se visualiza una variación de los datos. Elaborando una relación con los umbrales establecidos anteriormente se obtienen en ese instante los siguientes datos (Figura 4.9).

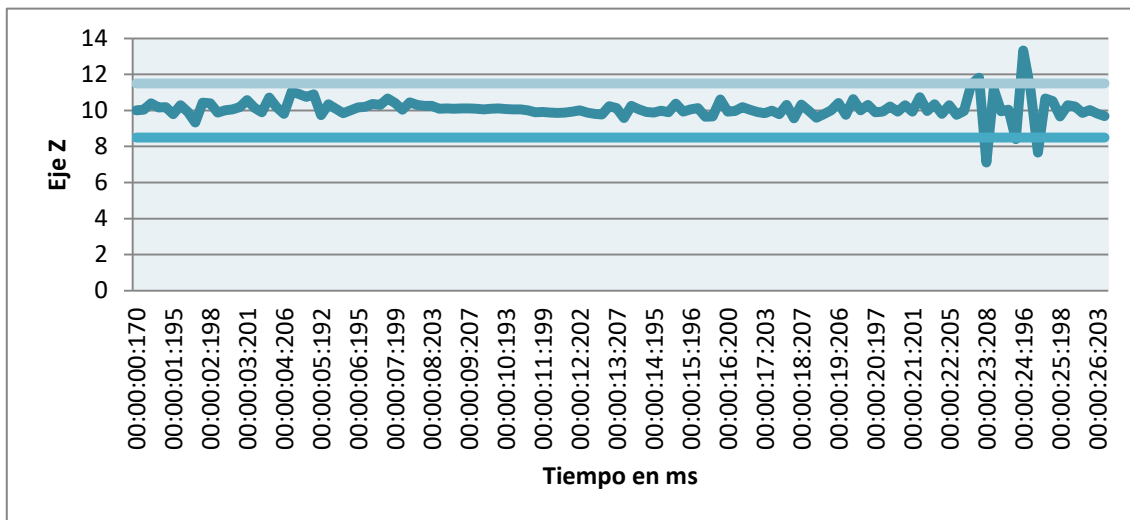


Fig 4.9 Datos obtenidos del segundo trayecto junto con los umbrales de detección

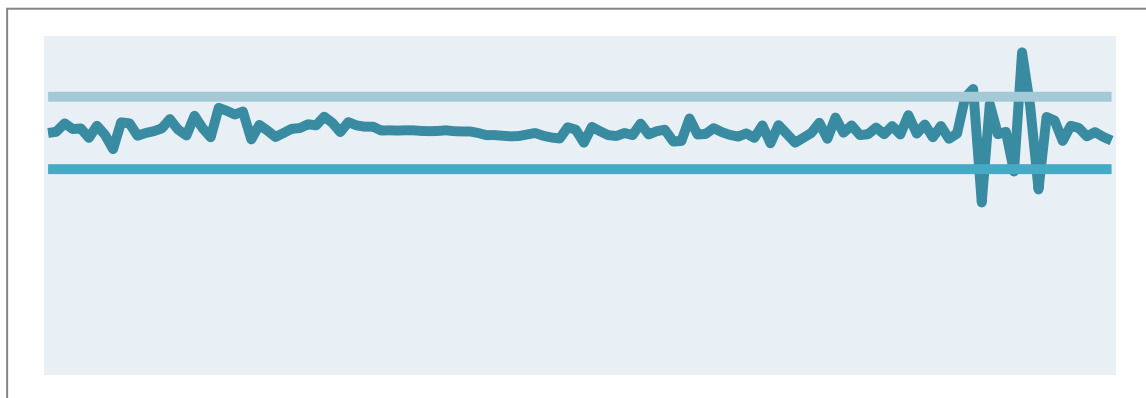


Fig 4.10 Zoom sobre la imagen 4.9

Las gráficas anteriores, clarifican que en ese instante de tiempo del viaje se produce una detección. Por lo tanto, se puede afirmar que para la detección de un badén de cemento, se establecen unos umbrales de detección con valor de 8.50 para niveles inferiores y 11.50 para niveles superiores, tal como se consideró en el viaje inicial.

- **Establecimiento de umbral badenes pequeños:**

Tras la identificación del primer tipo de resalto existente, se procede a calcular otro tipo diferente. En concreto, se intenta identificar los reductores de velocidad de menor tamaño. Para su detección, se realiza un nuevo recorrido sobre las calles de Fuencarral, Calle Federico Mompou, obteniendo los siguientes datos:

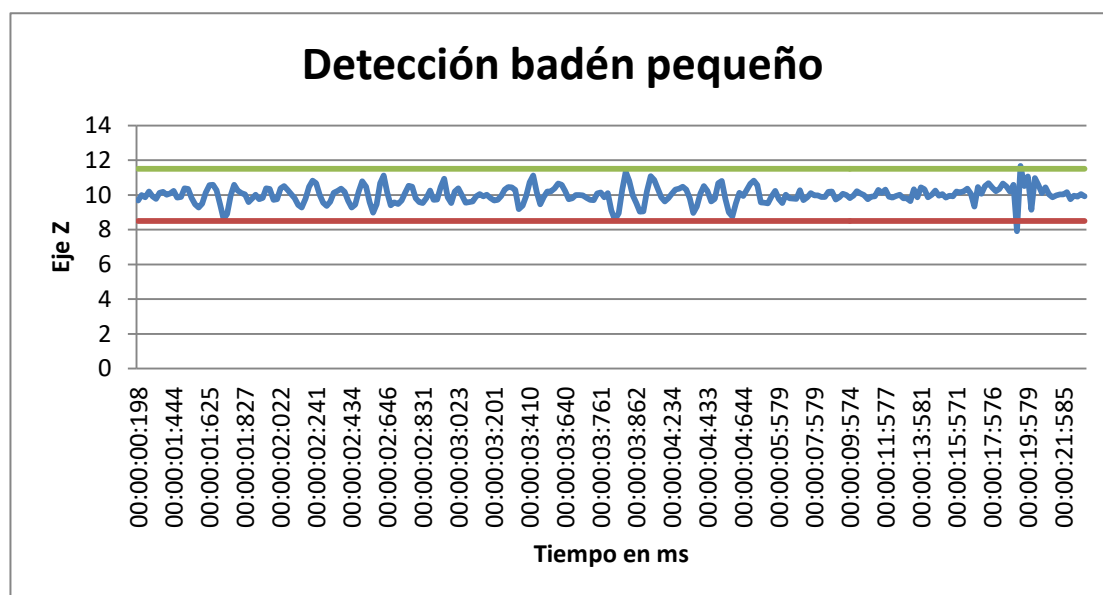


Fig 4.11 Datos obtenidos tras el paso por un badén pequeño

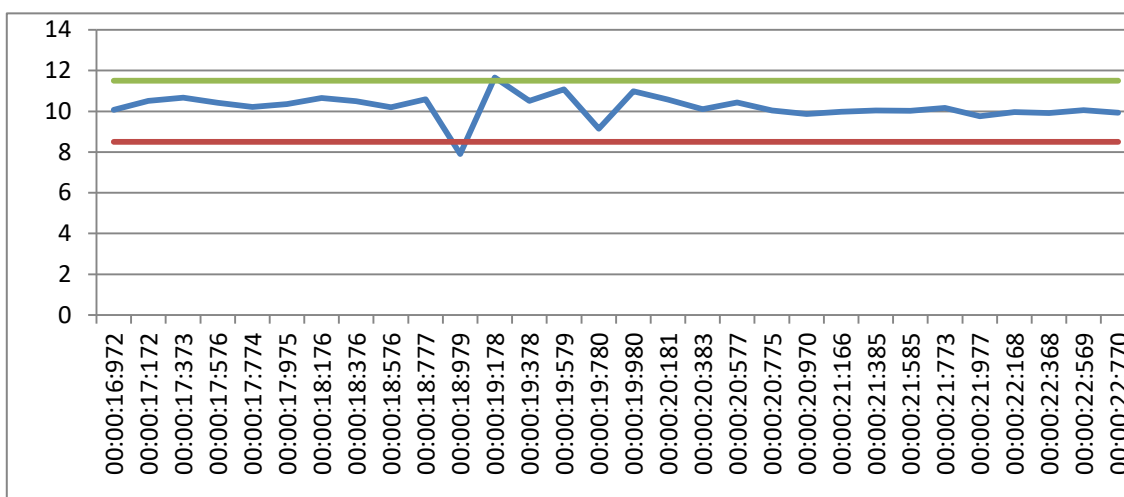


Fig 4.12 Instante exacto de la detección.

Visualizando la gráfica anterior, se observa que al final del trayecto se superan los umbrales establecidos en apartados anteriores (coincidiendo temporalmente con el paso sobre este resalto). Sin embargo, se detectan pequeños intervalos de tiempo donde los datos captados están cerca los estos umbrales. A causa de este hecho y para confirmar la robustez de la detección, se procede a la realización de un nuevo viaje. Este nuevo trayecto se efectúa en Pozuelo de Alarcón, en concreto en la Avenida de Europa 4.

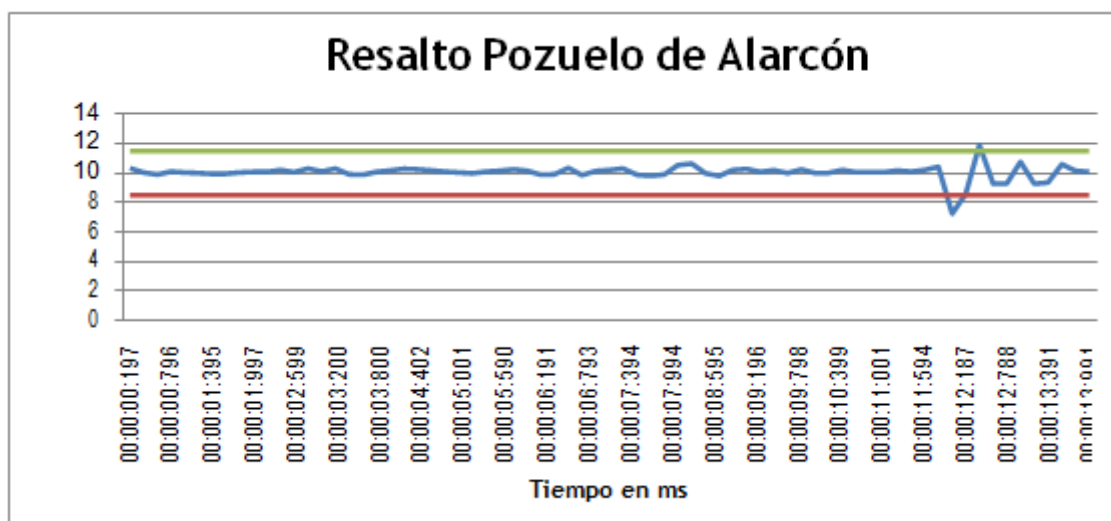


Fig 4.13 Datos del trayecto realizado en Pozuelo de Alarcón.

Acorde a los datos obtenidos, se ratifica que los umbrales implantados tras los diversos análisis permiten la correcta detección de los diferentes tipos de badenes.

Por otra parte, la causa de la gran variación de datos obtenidos en la Figura 4.12 se debe al deterioro de la carretera donde se elaboró el análisis. Dicho esto y pensando en el objetivo de la aplicación, si estos datos son enviados al organismo encargado de forma reiterada por una cantidad considerable de usuarios, este deberá proceder a su estudio y posible reparación.

En base al caso anterior, cabe destacar que, además de la detección de resaltos o baches en las carreteras, esta aplicación ofrece información acerca de los pavimentos, a través de los datos recogidos por el acelerómetro, que sufren un cierto desgaste fruto del uso, el tiempo de construcción, etc.

- **Establecimiento de umbral para baches:**

Para finalizar el estudio se procede a la identificación de los baches que se encuentran en las carreteras. El procedimiento a seguir es el mismo que para los casos anteriores. De modo que el examen se lleva a cabo sobre el parking de Mediaset España obteniendo los siguientes datos:

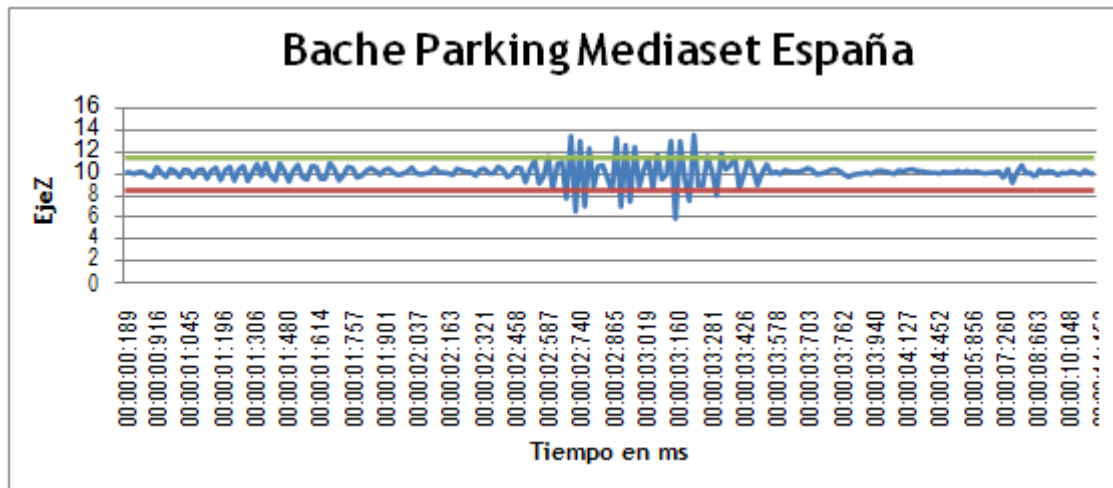


Fig 4.14 Detección de un bache.

En la Figura 4.15, se realiza una ampliación de la zona afectada para observar con más claridad y detalle la detección en ese intervalo de tiempo.

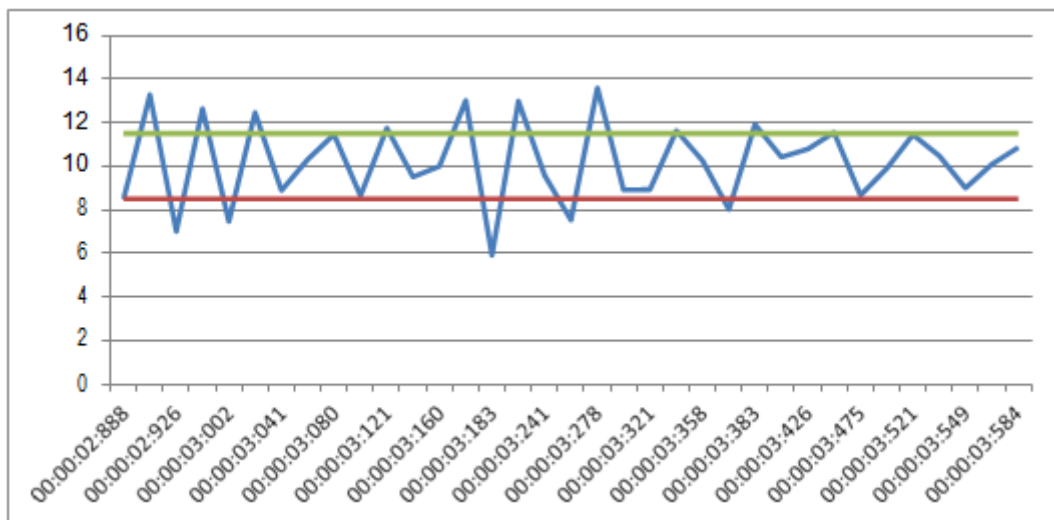


Fig 4.15 Datos del bache sobrepasado

Para concluir el análisis, en las dos gráficas anteriores y en las realizadas a lo largo de esta sección, se confirman dos aspectos a los que se ha hecho alusión previamente.

- El primero de ellos hace referencia al umbral de detección para el que, independientemente de ser un badén o bache, los mismos valores son válidos para su identificación (8.50 y 11.50). Si estos valores se acercan más al estado de reposo pueden dar error detectando anomalías donde no las hay.
- El segundo se refiere a las pendientes que se ilustran en la figura 4.2 y 4.3. El hecho de sobrepasar un bache (el vehículo se introduce inicialmente en él, es decir, se genera una pendiente negativa) genera que los valores del acelerómetro incrementan en su inicio. En cambio, tras el paso sobre un badén sucede lo contrario al caso anterior.

4.2.3. Prueba final.

Dados los umbrales establecidos, se ponen a prueba en un trayecto de mayor distancia para corroborar el correcto funcionamiento. El recorrido realizado será desde la Calle Federico Mompou hasta Avenida de Europa en Pozuelo de Alarcón obteniendo así los siguientes datos:

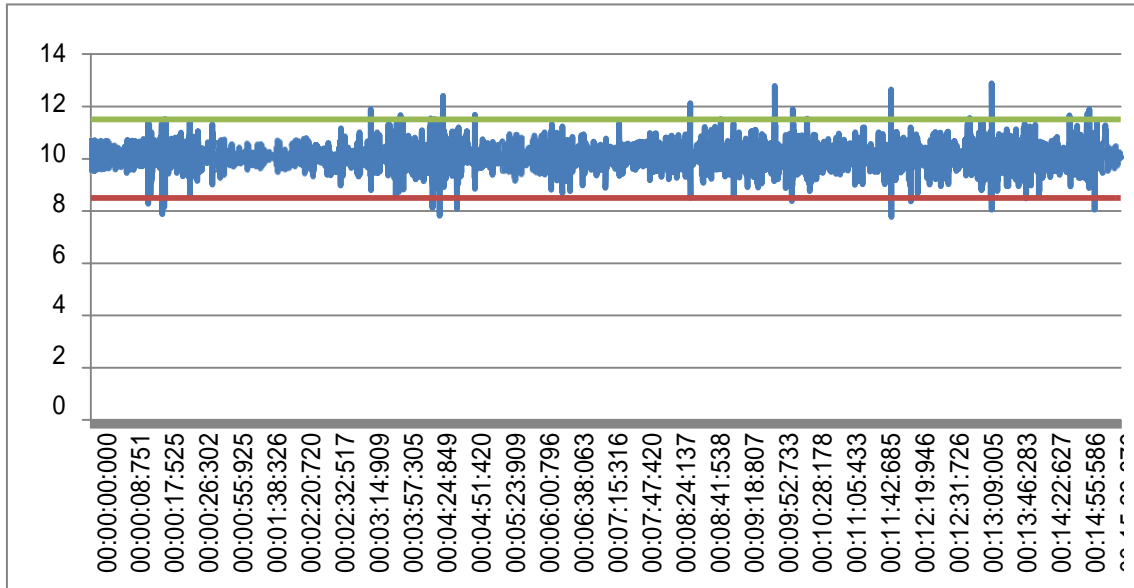


Fig 4.16 Datos obtenidos en un trayecto de mayor distancia.

A modo de conclusión, tras el análisis realizado previamente y según los datos obtenidos en la gráfica anterior, el trayecto llevado a cabo dispone de 8 resaltos destacables, así mismo existen algunas zonas más irregulares de lo habitual. Estas últimas no se consideran perjudiciales para el estado del vehículo pero, si un número elevado de usuarios envían datos similares, el organismo encargado del estado de las carreteras debería someter este trayecto a análisis para su posible reparación, tal y como se ha hecho mención previamente.

4.3. Resultado final

Tras los análisis llevados a cabo, se llega a una conclusión tal que, independientemente del tipo de firme que se suceda en la carretera, el mismo umbral de detección será válido para cada uno de ellos. Por este motivo se establecen dos umbrales diferentes:

Umbral inferior	Umbral superior
8.5	11.5

Tabla 4-1 Umbrales de detección

Una vez constatado que la aplicación cumple el objetivo de forma correcta, se procede al desarrollo y pruebas definitivas con la aplicación final.

Como se mencionó en apartados anteriores, para la elaboración de este proyecto se crearon dos aplicaciones:

- La primera de ellas hace referencia a la explicada a lo largo de este documento, que tiene un enfoque destinado al desarrollador de la App. El motivo principal se debe a la necesidad de visualización y posicionamiento de elementos en la interfaz gráfica, que para un cliente final son innecesarios. La función de estos elementos, para el desarrollador, es facilitar el cumplimiento del objetivo principal de la aplicación.
- La segunda, destinada a cualquier usuario que disponga de un terminal Android. La nueva interfaz de usuario desarrollada, se detalla en los próximos apartados.

5. APLICACIÓN FINAL

En este apartado tras la conclusión de los estudios realizados sobre las carreteras, se pone a prueba el correcto funcionamiento de la aplicación TrafficSense. Esta App, dispone de dos actividades (pantallas) que se explicarán a continuación:

5.1. MainActivity.java

Primera de las actividades, donde el usuario debe introducir un origen y un destino, es decir, el camino que desea recorrer (Figura 4.17) y futuro nombre del archivo que compartirá al organismo.



Fig 5.1 Interfaz de usuario de MainActivity

Para no disponer de dos campos vacíos, si uno de ellos se queda sin completar, la aplicación muestra una alerta informando al usuario de esta falta de información.



Fig 5.2 Alerta a causa de campos vacíos

5.1.1. Diagrama de flujo de MainActivity

La funcionalidad de esta actividad se ilustra en el siguiente diagrama de flujo.

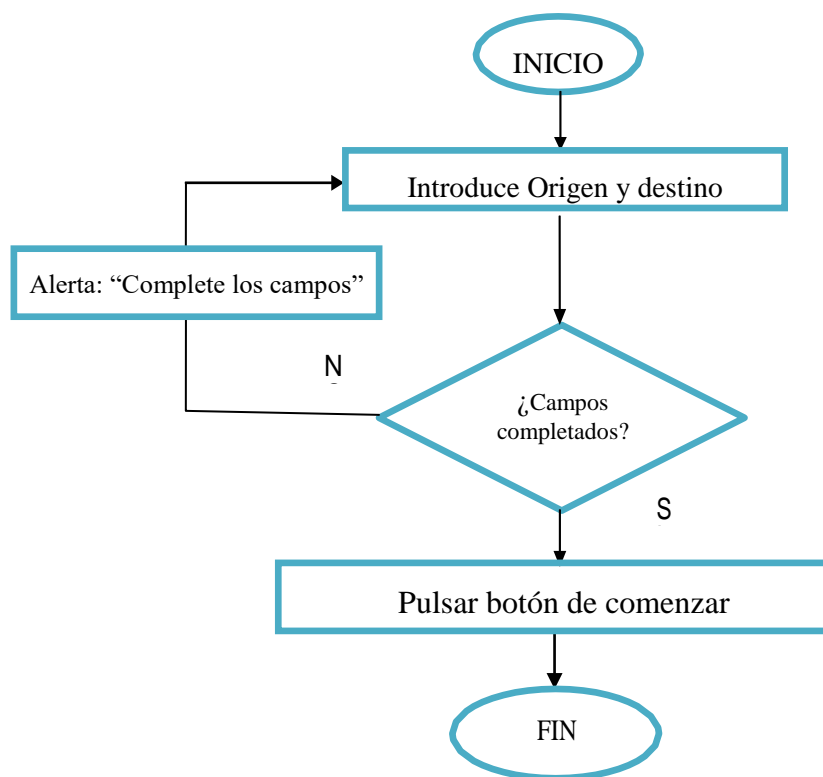


Fig 5.3 Diagrama de flujo de MainActivity

5.2. Analyse_data.java

Es la pantalla principal de la aplicación final. Su funcionalidad engloba a las actividades explicadas en el Capítulo 3: analyse_data, sanvigAccelerometerData y thanksFroUsing de la aplicación del desarrollador.

En esta sección el usuario, en función de lo escrito previamente, establecerá el trayecto clicando sobre el mapa el origen y el destino final de su trayecto. Este cálculo se desarrolla del mismo modo que para la aplicación del desarrollador. Se ejecuta un parsing de los atributos a los que se desea hacer uso para la posterior implementación en la interfaz.

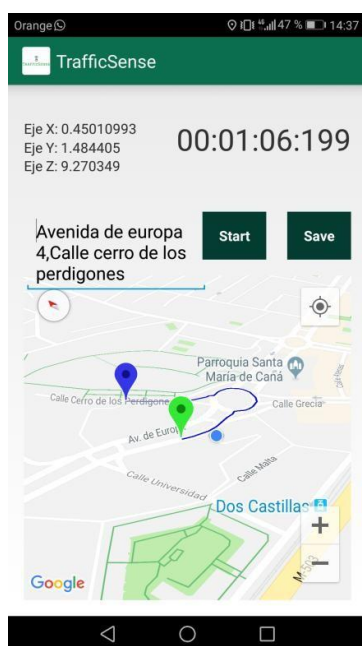


Fig 5.4 Interfaz de usuario de analyse_data

Una vez establecida la ruta, se coloca el dispositivo móvil en una superficie plana en el interior del vehículo y se procederá a la captura de datos y análisis de la carretera por medio de la aplicación.

Del mismo modo que la anterior App, estos datos son guardados en un archivo que, posteriormente se enviarán para su análisis y comprobación.

Una de las características que diferencia esta aplicación final de la primera es la posibilidad de visualizar a lo largo de la ruta los puntos donde se producen las detecciones al superar los umbrales establecidos.

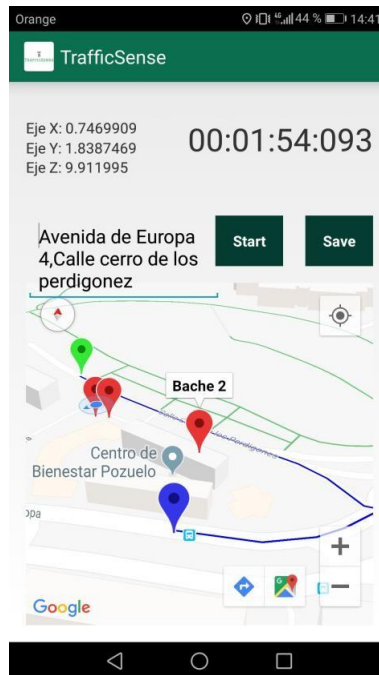


Fig 5.5 Baches detectados a lo largo de un trayecto

Una vez finalizado el trayecto, la última funcionalidad (a elección del usuario) es enviar los datos para hacer conocer de los desperfectos encontrados. Dicho envío se realiza a través del email del propio usuario hacia el del organismo que legisle el estado de las carreteras. Los datos proporcionados en este correo son los siguientes (Figura 4.22):

- Número de baches encontrados.
- Dirección del servidor para actualizar la base de datos.
- Archivo csv para la posterior comprobación de los datos enviados.

Envío datos Acelerometro

Numero de baches 3 desde Avenida de
europa 4 hasta Calle cerro de los
perdigones

SERVERR URL:

<http://192.168.1.44/trafficSense/registro.php?origen=Avenida de europa 4&destino=Calle cerro de los perdigones&numBache=3>

Fig 5.6 Envío al organismo encargado

Por último, se intenta implementar una base de datos, la cual se hizo mención en el Capítulo 3, para el almacenamiento de la información recogida en la aplicación. A través de TrafficSense se guardan los datos del origen, destino y el número de baches sucedidos a lo largo del trayecto.



	id	origen	destino	bache
	3	Calle Federico Mompou	Pozuelo de Alarcon	8
	4	Avenida de europa	Calle cerro de los perdigones	3

Fig 5.7 Base de datos del servidor.

5.2.1. Diagrama de flujo de analyseData

Una vez explicada la interfaz gráfica y el uso a continuación se muestran los diagramas de flujo de las principales funcionalidades de esta activity.

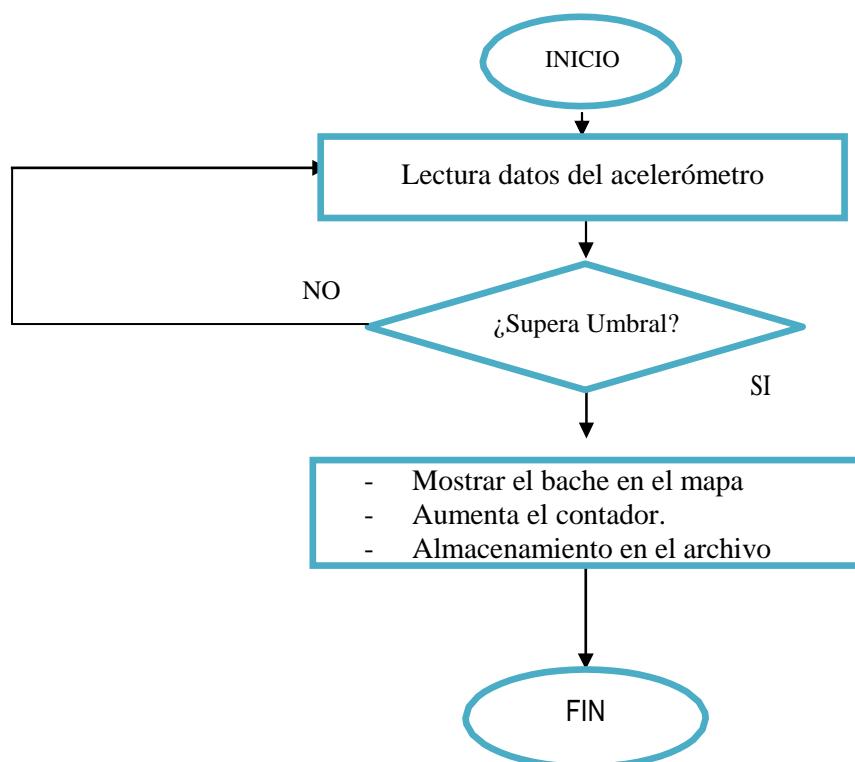


Fig 5.8 Captura de datos analyse_data.java

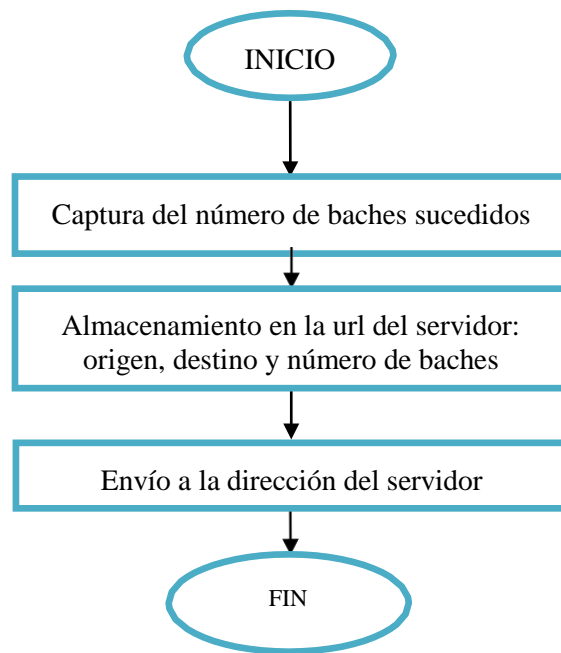


Fig 5.9 Subida datos a servidor

6. MARCO REGULADOR

En el transcurso de este capítulo se elabora un repaso a la legislación vigente en España y en Europa. Se hará una breve descripción acerca de las leyes que se debe de cumplir para la posible venta de la aplicación al público (por medio del AppStore).

6.1. Ley Orgánica de Protección de Datos

Tiene por objeto garantizar y proteger, en lo que concierne al tratamiento de los datos personales, las libertades públicas y los derechos fundamentales de las personas físicas, y especialmente de su honor e intimidad personal y familiar. [38]

A la hora de instalar en un dispositivo móvil una aplicación, esta puede generar una amplia recogida de datos. Como consecuencia de esto, las autoridades europeas aprobaron un informe concluyendo que, para el desarrollo de una aplicación, en cumplimiento con esta ley, se deberá:

1. Informar a los usuarios sobre sus derechos a ejercer para la protección de sus datos.
2. Acotar el propósito por el cual se recoge información.
3. Contar con el consentimiento previo del usuario.

Por otra parte en el artículo 4 hace mención a la calidad de los datos, alegando que la recogida y obtención de estos únicamente deberá se la imprescindible en relación al ámbito y objetivos para los que se haya establecido.

Por último, en el artículo 9, data sobre el posterior uso que se le debe de dar a esa información recogida.

- El responsable del fichero, y, en su caso, el encargado del tratamiento, deberán adoptar las medidas de índole técnica y organizativas necesarias que garanticen la seguridad de los datos de carácter personal y eviten su alteración, pérdida, tratamiento o acceso no autorizado, habida cuenta del estado de la tecnología, la naturaleza de los datos almacenados y los riesgos a que están expuestos, ya provengan de la acción humana o del medio físico o natural.
- No se registrarán datos de carácter personal en ficheros que no reúnan las condiciones que se determinen por vía reglamentaria con respecto a su integridad y seguridad y a las de los centros de tratamiento, locales, equipos, sistemas y programas.
- Reglamentariamente se establecerán los requisitos y condiciones que deban reunir los ficheros y las personas que intervengan en el tratamiento de los datos a que se refiere el artículo 7 de esta Ley.

Mencionada esta ley cabe destacar que, TrafficSense no realiza ninguna implementación para la captura de datos del cliente que haga uso de la aplicación. El único dato que recoge es la ubicación del mismo (con un previo consentimiento, permitiendo el uso de esta localización a través de un mensaje en pantalla).

6.2.Constitución Española

Norma suprema del ordenamiento jurídico español. Aprobada por las Cortes Generales y ratificada por el pueblo español en el año 1978. [39]

En el Capítulo primero, artículo 18 se hace alusiones a:

- Garantizar el derecho al honor, intimidad y la imagen propia.
- Garantiza el secreto de las comunicaciones, en concreto, telefónicas y telegráficas.
- Se limita el uso de la informática para garantizar el honor y la intimidad personal de los ciudadanos.

6.3.Ley de propiedad intelectual

La propiedad intelectual es el conjunto de derechos que corresponden a los autores y a otros titulares (artistas, productores, organismos de radiodifusión...) respecto de las obras y prestaciones fruto de su creación.

Los derechos que constituyen la ley de propiedad intelectual son los derechos morales y derechos patrimoniales. Es decir, cualquier aplicación móvil o desarrollo deberá cumplir los derechos mencionados. [40]

El diseño y uso de la aplicación desarrollada no implica el empleo de ninguna herramienta externa la cual se pueda sentir perjudicada. El uso de todos los elementos son elaboraciones propias de desarrollaor.

6.4. Dirección General de Tráfico

Este organismo data en el capítulo V, artículo 98 (infracciones) que la utilización del teléfono móvil o cualquier otro dispositivo durante el ejercicio de la conducción serán penalizados.

Con esto se informa que, aunque la aplicación TrafficSense haga muestras en directo de los baches encontrados, se recomienda que sea un pasajero del coche el que lo visualice y no el propio conductor.

La posible solución para este tema, sería mostrar un mensaje en pantalla alertando de la infracción que se comete y las consecuencias que puede acarrear sobre el usuario el uso de un dispositivo móvil durante la conducción.

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS

En este capítulo se detallan las conclusiones extraídas durante la elaboración y desarrollo de la aplicación TrafficSense. Para ello, se consideran los objetivos cumplidos además de futuras mejoras para conseguir una aplicación plenamente preparada para su venta.

La elección de crear una aplicación móvil viene motivada por la asignatura impartida en el curso académico. Esta motivación nace de la posibilidad de crear herramientas útiles, al alcance de cualquiera y que sirvan de ayuda a diferentes personas. Además, demostrar una madurez de los conocimientos adquiridos y ser capaz de elaborar una aplicación móvil.

Previamente a realizar las conclusiones se debe señalar que existen más aplicaciones en el mercado (como se mencionó en el estado del arte) y que la aplicación elaborada precisa de detalles para poder competir con las demás.

7.1. Objetivos alcanzados

Los objetivos propuestos para el desarrollo de este proyecto y generar una aplicación (con su respectiva documentación) adecuada para considerarse como un trabajo fin de grado son:

- Objetivos fundamentales:
 - Desarrollo de una aplicación móvil en el entorno de desarrollador Android.
 - Implementación del sensor del acelerómetro del dispositivo móvil y su posterior recogida de datos.
 - Visualización de Google Maps y la posibilidad de establecer una ruta óptima desde un origen hacia un destino.
 - Detección de baches o resaltos mediante la aplicación móvil. Además de la capacidad de visualización en directo por medio del Google Maps.
- Objetivo extra:
 - Envío de las detecciones a servidor a través de un método poco robusto.

7.2. Futuras mejoras

A pesar del cumplimiento de los objetivos mencionados en el apartado anterior, a lo largo del desarrollo de la aplicación han surgido una serie de ideas para su mejora y completo funcionamiento de cara a un cliente final.

- A la hora de establecer la ruta, en vez de realizarlo de forma manual, hacer uso de los datos introducidos en la activity anterior. Esto proporcionará más comodidad al consumidor a la hora de hacer uso de la aplicación.
- Poder establecer una comunicación entre diferentes usuarios, para informar de los desperfectos encontrados en las carreteras.

- Para completar de forma plena la aplicación, se puede realizar un estudio detallado (similar al establecido en este documento) para la detección de curvas y zonas de frenadas. Estos dos objetivos, junto con el apartado anterior, harían de TrafficSense una aplicación más competitiva respecto a las existentes actualmente.
- Desarrollar la aplicación para los diferentes sistemas operativos en especial, iOS.
- Desarrollar un servidor más robusto

ANEXO A: GESTIÓN DEL PROYECTO Y PRESUPUESTOS

En esta última sección del trabajo fin de grado, se explicará la gestión del proyecto y la estimación del presupuesto. Es un punto imprescindible en el proyecto, ya que ofrece una amplia visión sobre la gestión del proyecto y recursos empleados.

Para su elaboración, se determinan las fases, se realiza un diagrama de Gantt, y para concluir se determinan los costes tanto de las herramientas como personales.

Gestión del proyecto.

El desarrollo del proyecto se inició en Octubre del 2017 y concluye en Septiembre del siguiente año (2018). Cabe comentar que durante la elaboración del proyecto, se produjo un desfase entre la planificación inicial y la final. Por consiguiente este hecho, se debe reflejar y tener en cuenta en la realización de los diagramas.

- Estimación inicial del proyecto: Para realizar un proyecto, previamente a su comienzo, se deben estimar las fases de este. Es decir, se fraccionan en horas de dedicación para cada una de ellas.

Ocupación	Horas empleadas(h)
Identificación del problema	10
Herramientas de uso	20
Desarrollo	200
Pruebas y análisis	40
Aplicación final	50
Documentación	130
Total	450

Tabla A.1 Estimación del número de horas de cada fase.

Planificación final: La idea inicial de este proyecto era realizar la entrega en el mes de Junio. Debido al desfase en la planificación, se tomó la decisión de aplazarlo a la convocatoria siguiente. Por ello, a continuación se muestran las horas reales para la correcta elaboración de este proyecto:

OCUPACIÓN	HORAS EMPLEADAS (h-)
Identificación del problema	13
<i>Lectura y comprensión del documento</i>	4
<i>Búsqueda de información</i>	5
Esquema de planificación de tareas	4
Herramientas de Uso	25
<i>Descarga y configuración de los dispositivos</i>	5
<i>Aprendizaje Android</i>	20
Desarrollo	215
Implementación Google Maps	60
<i>Establecer Mapa</i>	20
<i>Cálculo de ruta</i>	30
<i>Marker de detección</i>	10
Implementación datos del acelerómetro	50
<i>Datos acelerómetro</i>	20
<i>Calibración</i>	25
<i>Visualización a tiempo real</i>	5
Captura de datos archivo CSV	30
<i>Búsqueda de información</i>	10
<i>Implementación para guardar los datos</i>	20
Establecimiento de umbrales	75
<i>Realizar viajes</i>	30
<i>Análisis de de datos</i>	25
<i>Estudio y establecimiento umbral</i>	20
Aplicación final	105
<i>Organización de las actividades</i>	30
<i>Establecimiento de umbrales</i>	20
<i>Visualización a tiempo real</i>	25
<i>Pruebas con servidores</i>	30
Documentación	150
TOTAL	508

Tabla A.0-2 Tiempo empleado en la realización del proyecto (en horas)

Además de esto se han concretado una serie de reuniones: Las dos primeras en el mes de Junio y Octubre del 2017 respectivamente. La primera fue meramente informativa acerca de los diferentes proyectos que se podría realizar y la segunda se procedió a la adjudicación del proyecto que se ha realizado. A lo largo del 2018 se tuvieron 3 reuniones para establecer el camino correcto hacia el objetivo del proyecto.

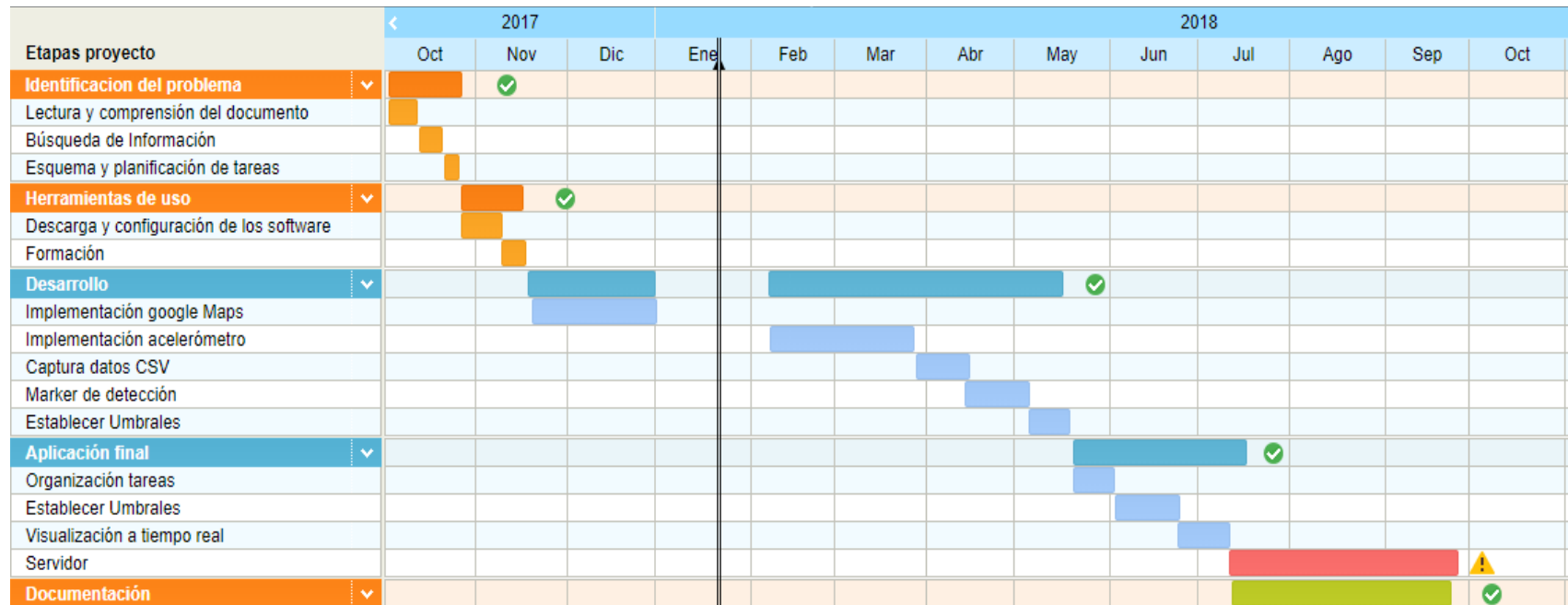


Fig A.1Diagrama de Gantt

PRESUPUESTOS

En esta sección se expone el presupuesto del proyecto realizado. Para su elaboración se tiene en cuenta: gasto personal, hardware y otros gastos que se han utilizado para su gestión.

- Coste personal.

Para un Graduado en Ingeniería recién titulado, el salario base suele comprender entre 1.800€ y 2.000 € mensuales, convirtiéndose anualmente en 21.600€ y 24.000€ (brutos/año). Por otra parte, este proyecto ha sido tutorizado por un Ingeniero Superior cuyo sueldo se estima que es 33.000€ anuales.

En base a estas cifras, se establecen los unos precios aproximados en función de las horas trabajadas a lo largo del proyecto.

- Ingeniero Recién titulado: Se estimó anteriormente que las horas trabajadas fueron 508 h. Acorde con el salario que cobraría un Ingeniero Junior, la cifra asciende a 2.5€/hora.
- Ingeniero Superior: Se establecen 80 horas de trabajo, siendo el precio: 9.54€/h.

Trabajador	Cargo	Salario	Horas	Coste/proyecto
Ignacio Manterola Zárate	Graduado en Ingeniería	2.5€/h	508	1.270 €
Celeste Campo Vázquez	Ingeniera Superior	9.54€/h	80	763,2 €
TOTAL				2.033,2

Tabla A.3 Costes por hora de cada trabajador

- Coste hardware.

Para este proyecto se ha hecho uso de un teléfono móvil (Huawei P9 Lite) y un portátil (Lenovo). Sabiendo que la vida útil de un dispositivo móvil son 3 años aproximadamente y la de un ordenador portátil de 5 años, a continuación se procede al cálculo de su amortización. Para obtener esta cifra, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Valor del bien}}{\text{Vida útil}}$$

Software	Valor del bien	Vida útil	Amortización/año
Huawei P9 Lite	225€	3 años	75€/año
Lenovo TM ideapad	555€	5 años	111 €/año
TOTAL			183€/año

Tabla 4.4 Amortización del software utilizado

Una vez calculado la amortización se procede al cálculo del coste de cada uno de los elementos anteriores en función de su amortización por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Coste} = \frac{\text{amortización} \times \text{Periodo de uso}}{12}$$

Software	Amortización	Periodo de uso	Coste
Huawei P9 Lite	75 €	10	62.5 €
Lenovo TM ideapad	111€	10	111 €
TOTAL			173.5€

Tabla A.5 Coste del software utilizado.

- Coste del software: El software utilizado para la elaboración del proyecto ha sido Android Studio y Microsoft Excel, ambos completamente gratuitos por lo que no computa como gasto.
- Otros gastos: En esta categoría cabe destacar el coste de la gasolina utilizada para la realización de los viajes. Por ello el gasto aproximado del vehículo utilizado es de 7,00L/100km. Habiendo realizado una media de 500km para la ejecución de las pruebas y sabiendo que el coste de la gasolina hoy en día está a 1,376€/L, se establece un gasto de 50 € aproximadamente.
- Coste total: Tras los costes mencionados con anterioridad, se calcula que el coste total de proyecto.

Tipo de Coste	Coste
Personal	2.033,2
Hardware	173.5 €
Otros gastos	50 €
TOTAL	2.256.7 €

Tabla A.6 Coste total del proyecto

ANEXO B: ENGLISH VERSION

1. INTRODUCTION AND AIMS

1.1. Introduction

In the last years, the traffic in Spain has supposed a problem because of the large number of vehicles in the roads.

According to a report of the Asociación Española de la Carretera (AEC), these roads are in worse conditions that they were in 1985 (Figure B.1).



Fig B.1 Example of road in bad conditions.

The repair of the damages on the roads would imply an investment of approximately 6000 million of euros.

Nevertheless, leaving aside the economic factor, it is also important to consider the secure conditions of these roads.

Jaguar Land Rover together with Google are investigating a new technology that could identify the places containing bumpy, in such a way that thanks to the identification of pot-holes, the drivers will be warned and they will be able to reduce the speed diminishing in this way the danger.

Another possible alternative that offers this technology is the fact that the vehicle could fit the configuration of suspension to reduce impacts.

Jaguar Land Rover, also implements a stereoscopic camera that will capture images of the road to share them later with the application.

On the other hand, Google, has elaborated a project to evaluate the quality of the roads through the use of a Global Positioning System (GPS) and sensors, that will inform about the damages of the roads. From this information, Google elaborates a database with the roads and streets that could be repaired, and it also helps with its GPS to find new routes to avoid problems.

The information that collected will be send to a server. In this case, the server will be “Dirección General de Tráfico” (DGT). Therefore, if a high number of vehicles inform

about some damage in a specific track in any road, this agency should study its repair.

1.2. Objectives

The main objective of this project is to obtain information about the Spanish roads for their repair, making the traffic surer. This information will be recruited thanks to an application called TrafficSense.

1.3. Development phase

For the execution of the project several phases have been carried out:

- **Phase 1. To identify the problem:** documentation was carried out to detect the problem and look for solutions.
- **Phase 2. Tools of use:** to identify useful tools for the project (as Android Studio).
- **Phase 3: Development:** In this phase, a scheme is realized to show some ideas of the application as the screens it will have, the different functions that he will arrange...
- **Phase 4: Tests, analysis of information:** in which the information will be obtained and analyzed.
- **Phase 5: Final Application:** the final application will be created to detect the hurts on an independent form.
- **Phase 6: Document:** the production of a technical document of the whole process.

1.4. Resources used

For the production of the project the following resources have been used:

- Hardware: Smartphone Android, Huawei P9 Lite y Tablet BQ EDISON 3.
- Software: Android Nougat 7.0, Android Studio (Integrated Development Environment, IDE).
- Vehicles: Rover 45 and Seat Ibiza Itech.

2. STATE OF ART

Along the present chapter, the technical aspects carried out in this work are set up. In addition, it is made a comparison between the current applications that can detect different road conditions, and the application that is being developed in this project. In the following lines the technical aspects are explained.

2.1. Android Platform.

Android is an operating system based in a Kernel stack aimed to mobile phones, tablets, smart-watches, TV and even to vehicles.

2.1.1. Android Architecture

The next picture shows the different layering from this operating system.

- Applications: It's at the top layer, where are included this and those that the users introduce.
- Application Framework: This layer provides many higher-level services to applications.
- Runtime: Provides a key component called Dalvik Virtual Machine which is a kind of java virtual machine specially design and optimized for android
- Linux kernel: Provides necessary drivers for different hardware in order to use it through calling.

2.1.2. Android application

The different application components that compose it are:

- View: There are different element that compose the user interface
- Activity: It's the same that the screen mobile, where there is the graphic interface and the users will make use of their functions.
- Service: Background elements, for example, the notifications.

2.2. Sensor

The mobile phones have got different kind of sensors like: acelerometer, giroscopy, barometer, proximity sensor, light sensor, electric/magnetic sensor, etc. The first one of this, is the unique sensor of these. It's the only sensor of these that is in use for developing the application.

- Acelerometer: The main objective is to detect orientation changes in the mobile phones. It is formed by two metal plates like a capacity. When the mobile has acceleration, this capacity changes and moves the mobile plate.

2.3. Other application.

Due to the preoccupation about roads condition, there are some companies working to develop a system to be increase road quality.

Ford, in 2007 introduce to Galaxy, Mondeo and S-Max different sensors to detect roads

conditions. Their main objective was to detect pothole or bumps. As a consequence, Ford proposed to adjust the car suspension when a car passes through a bump.

On this objective the application that is developed in this project tries to make the same, although TrafficSense will try to detect bumps in the road but not to adjust the car suspension.

The solution that this company proposes is to login de information, building a map with the different bumps and after that, to share it with the rest of vehicles that are connecting to the same net.

Google also develops a similar application but they use new topics. Firstly, if one of the roads has too much bumps, google rebuilds the track and send the user to another route in better state.

Otherwise, there are mobile applications that use accelerometer data to detect roads condition:

- STREET BUMPS: The objective is to provide help to citizens from Boston to improve the neighborhood. The residents use the application for data collections about their roads while driving. After that, Boston adds the information across the users to provide the citizens with real time information to solve short-term problems and to plan long-term investments.
- Avisos Madrid: Applications of the Town hall of Madrid to report several incidences in relation to: street, illuminated furniture, urban cleanliness and residues, green spaces or woodland, sidewalks and causeways, abandoned vehicles left, etc.
- Línea Verde: Application promoted by the municipality of Marrataxi launched in 2017. As the other Apps, it's looking for repair potholes in the roads too.

3. IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM

3.1. Introduction to the application

In this section, the development of the application will be explained.

The ideal functioning of the application will be due to the sensor of the accelerometer of the mobile device. This information is gathered along a route established by the user previously. The values provided by the accelerometer are captured in a CSV (comma-separated values) file for its later analysis. To identify the thresholds of detection, this information will be later transformed to a xls format (Microsoft Excel).

The efficacy of Trafficsense will be evaluated with some experiments that will be realized in roads from Madrid (Pozuelo de Alarcón and Majadahonda).

3.2. The system architecture.

The architecture of the application is formed by 4 different layers.

- Interface: First section in which the user can see the different elements from the activity and can use it.

- Functionality: The second part of the architecture where functionality is applied to the different elements of the activities.
- Operating System: Android is the operating system that is used to develop this application.
- External communication: Almost implemented function which attempts to send data to an external server.

3.3. Technologies used in the development of the application.

The technological tools used in this work have been:

- Accelerometer Sensor: The orientation and movement sensors have gained great importance in mobile phones, allowing you to execute actions of great relevance. Among the different functions, they are:
 - o The detection of the orientation of the mobile for the rear display of documents or images.
 - o Develop augmented reality application combining orientation and camera
 - o Application of navigation with compass.
- Google Maps: To know the location is indispensable to show in what geographical points of the map they could find any damages in a route.

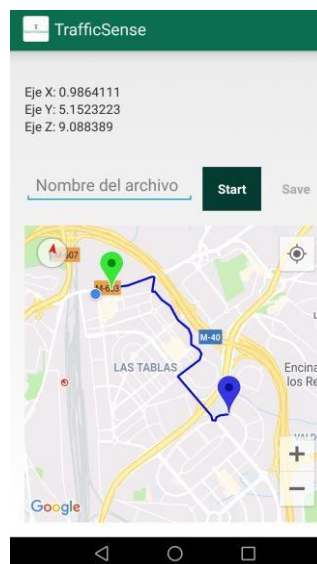


Fig B.2 Google Maps implemented in the app.

3.4. Server

During this section will explain the design interface and methodology development to create a server. (Its resolution is not yet perfect. This interface is formed by:

- Control Panel: The Xampp server has a control panel (Control Panel v3.2.2), showing all the installed components.

To initiate the server ,firstly the Apache module must be active and then choose de database that will use after. In this case, it will be use MySQL

- phpMyAdmin: Finished the past configuration, the next step is to create the database. This database will called dgt and the table MySQL, roadinfo. The last one, they will be formed different parts. Those parts are: id, origin, destination and potoholes.

3.5. Activities and Implementing classes.

In this project two different applications are implemented. The first one is destinating for the developer of the application and the second one for the final client. In this section will speak about the implementation of the developer application, because in this one, there are elements that are insignificant for the final app and very important to analyse de roads and hace enough information.

- MainActivity.java: It's de first activity that the user see when initiate the app.
- Analysedata.java: The user's interface of this activity is arranged of: an EditText where the own developer will introduce the file CSV to store the information caught by the accelerometer

Finally, there is a fragment with Google Maps, where it is possible to establish the route between two positions of the map. The implementation of this action is realized by means of another class, JsonParse, which was explaining later.

- SavingAcelerometerData.java: The function is, to store de data in a CSV file.
- thanksForUsig.java: The final acitivty that used to send road's information.
- The other classes are, Chronometer.java and PaseJson.java. The last one is most important to develop different function in google maps.

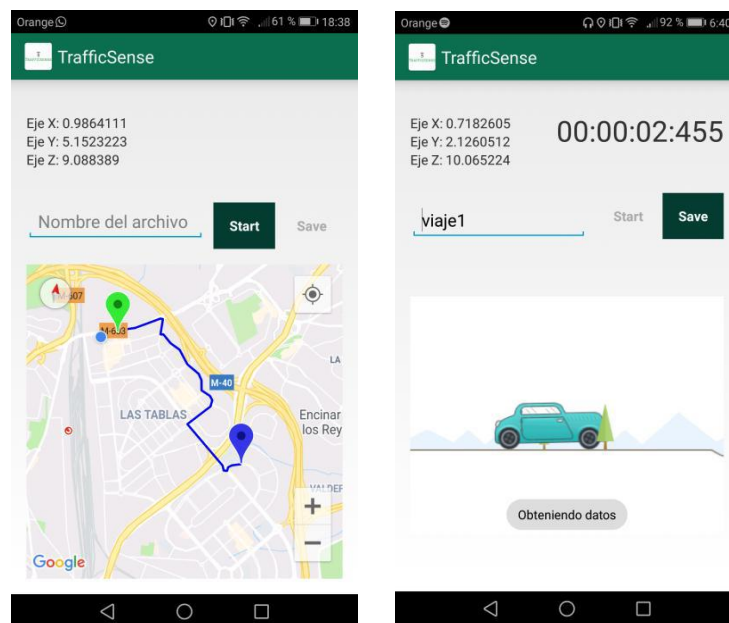


Fig B.0.3 Activity analysedata.java and savingAcelerometerData.java

4. EVALUATION AND RESULTS

This section describes the operation of the application with a Huawei device P9 Lite.

4.1. Evaluation of tests

For this evaluation, two procedures have been followed:

- The study of the flat-based accelerometer sensor.
- The realization of small routes on those roads where bumps or potholes are to establish optimum threshold.

4.1.1. Tests on plain

Tests on a flat surface favor the study and calculation of the thresholds that are desired.

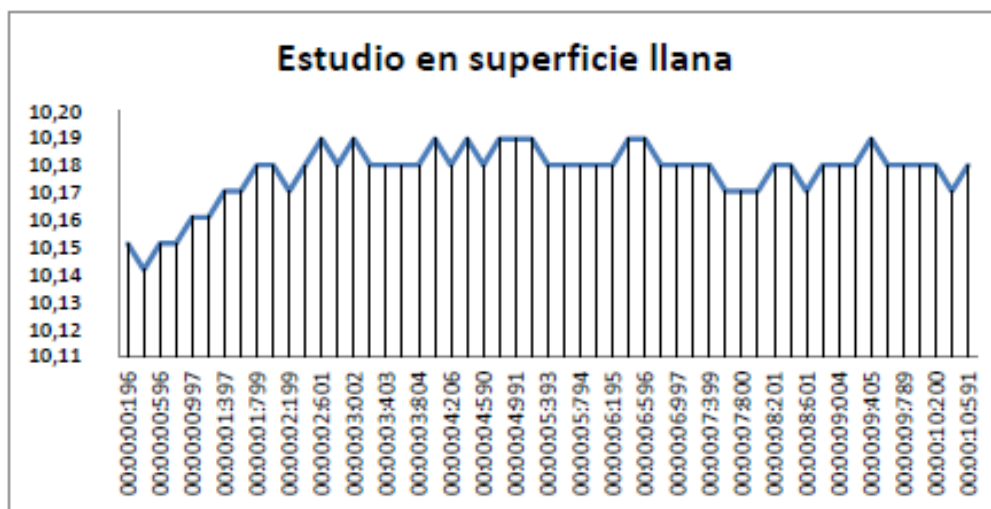


Fig B.0.4 Information in a flat surface

The previous image shows that values of the sensor at complete rest are between intervals of 10.14 and 10.19. For a greater precision is set a margin of error of ± 0.5 . Therefore, determines that values at rest will be included between 10.4 and 9.6.

It will be considered two types of anomalies on the roads:

- Speed bumps.
- The wear of asphalt (potholes).

4.2. Testing

4.2.1. First tests

Potholes are the main subject of study in this work for reasons of visibility and for reason or personal injury and car damage.

The first test was made in Majadahonda. When the car goes through the artificial pothole, the application provides the following data:

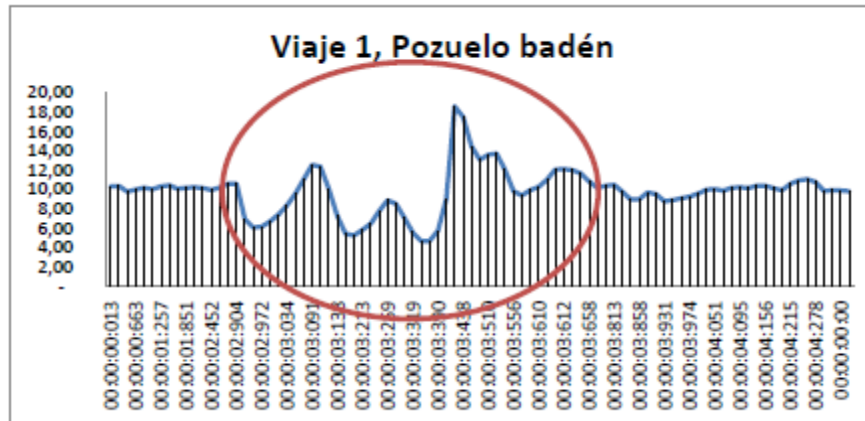


Fig B.0.5 Pothole detect

Shows a comparison between the data in Figure B.4 and Figure B.5

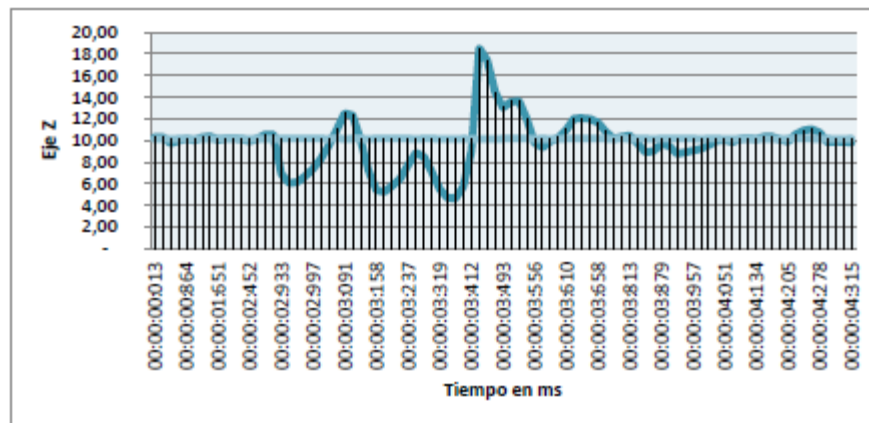


Fig B.0.6 Comparison between the data in Figure B.4 and Figure B.5

The curve in light blue shows the path over plain and the curve in dark blue, shows the “Viaje 1”.

In this graph, it is observed that in the time interval between 00: 00: 02: 933 and 00: 00: 03: 537 there is a relevant variation of the data, as a consequence of the artificial pothole.

With the analyzed data, a first approximation is elaborated.

Therefore, it is proposed to establish a lower threshold of 8.50 and 11.50 as the upper limit for the detection of this type of potholes.

4.2.2. Tests to establish an optimal threshold

After the tests carried out before, tests of longer duration will be done to fix a more detailed threshold.

“Viaje 2” will be done in Pozuelo de Alarcón and the obtained data of this journey will affirm the detection thresholds mentioned in “Viaje 1”.

After these tests, the threshold of small speed bumps will be established. For this, a new journey will be designed in the streets Fuencarral, Calle Federico Mompou. The data

obtained in this tour, inform that at the end of the journey the thresholds established in previous sections are exceeded. However, small time intervals are detected where the captured data are close to the thresholds mentioned before.

Therefore, a new journey is made in Pozuelo de Alarcón. With the data obtained, it is confirmed that the established thresholds allow the detection of different speed bumps.

To finish the study, an identification of bumps in the roads, will be made. This test, will be done in Mediaset España parking. The data obtained in this test indicate that the detection threshold is also between 8.50 and 11.50. This analysis also indicates that when the car passes through the pothole, it generates an increase in the values of the accelerometer. After this, the opposite happens with the values of the accelerometer.

4.2.3. Final test

To conclude the study, a longer journey will be analyzed from Federico Mopou to Pozuelo de Alarcón Avenida de Europa.

According to the data obtained in this journey, 8 potholes are found. Some irregular areas of the road are also detected, which are not considered dangerous for the vehicle. If many users send information about these irregular areas, its repair will be considered

5. FINAL APP

In this section, after the conclusion obtained in chapter 4, the final application is tested.

The main activity is analyseData. The principal functionality about this part of the application is to show in the map the deteccion when a car passes through potholes. This function shows in the next picture. In addition one tries to send the information obtained to an external server.

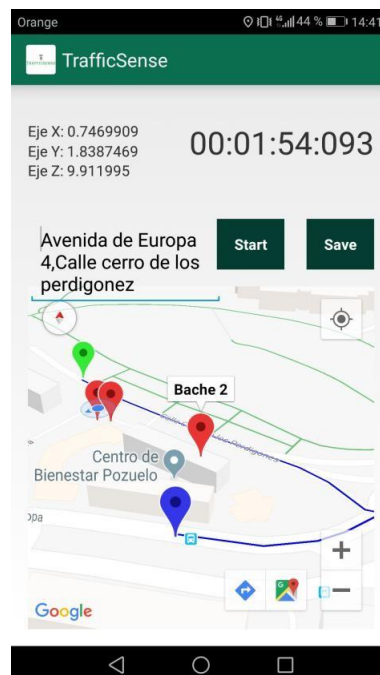


Fig B.7 Deteccion in the application

6. REGULATORY FRAMEWORK

It has been considered a brief description of the laws that must be valued for the sale of the application TrafficSense (by Applestore).

These laws have been checked from Boletín Oficial del Estado (BOE).

- Spanish Constitution: In which, chapter 1 article 18 it is guaranteed the right to the honor, intimacy, the own image, the secret of the communications (telephonic and telegraphic) limiting the information.

7. CONCLUSIONS AND FUTURE IMPROVEMENTS

The motivation of this project is given by the subjects that I studied during my previous academic years.

With this project, I intended the creation of a useful tool for different persons.

The principal aim of the project has been to develop an application to detect damages in different roads. Thanks to the data collection of these damages and its later report, it is possible to reduce the risk for the vehicles and persons in this type of roads. Also, it is possible to inform of these damages to local authorities, which then will know which roads need to be repaired.

7.1. Objectives achieved.

The fundamental aims reached in the project have been:

- To developed a mobile application in the developer's environment Android.
- To implement the sensor of the accelerometer of the mobile device and to collect later the information.
- To include a Google Maps's visualization and the possibility of establishing an ideal route from an origin towards a destination.
- To detect pot-holes or bounces by means of the mobile application.

7.2. Future improvements

Along the project, some ideas have arisen for its future improvement:

- In the first place, to establish the route with the information got in the previous activity and not manually.
- In addition, another idea could be to establish a communication between different users and to report over of the damages.
- Other idea could be to realize a detailed study for the detection of curves and zones of stopped or slow traffic.
- Another possible improvement could be to develop the application for the different operating systems especially, for iOS.

- To finish this point and the most important improvement for the future could be to develop a better server.

Bibliografía

- [1] F. MAPFRE, “¿En qué estado se encuentran las carreteras españolas?,” MAPFRE, 21 Septiembre 2016. [Online]. Available: <https://www.seguridadvialenlaempresa.com/seguridad-empresas/actualidad/noticias/en-que-estado-estan-las-carreteras-espana.jsp>. [Accessed 22 Junio 2018].
- [2] V. Premium, “Sistema de detección de baches,” Vida Premium, 12 06 2015. [Online]. Available: <https://www.vidapremium.com/sistema-de-deteccion-de-baches-769.htm>. [Accessed 22 Junio 2018].
- [3] M. d. Interior, “Plan de Investigación e Innovación en Seguridad Vial y Movilidad 2017- 2020,” Direccion General de Tráfico, Madrid, 2017.
- [4] P.Mohan, V.N.Padmanabhan and R.Ramjee, “*TrafficSense: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile*”, India, Bangalore: Technical Report MSR-TR-2008-59, 2008
- [5] Microsoft, Microsoft, 2018. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/trafficsense-rich-monitoring-of-road-and-traffic-conditions-using-mobile-smartphones/>. [Accessed 23 Junio 2018].
- [6] G. Chugh1, D. Bansal and S. Sofat, Road Condition Detection Using Smartphone Sensors:, Chandigarh, India: © International Research Publication House, 2014.
- [7] “Developers,” 7 8 2018. [Online]. Available: <https://developer.android.com/training/basics/data-storage/files.html?hl=es-419#GetFreeSpace>. [Accessed 22 Junio 2018].
- [8] J. F.Knigth, Uses of accelerometer data collected from a wearable system, London: Springer, 2006.
- [9] Android, “Android Developer,” Android, 2018. [Online]. Available: <https://developer.android.com/guide/platform/?hl=es-419#linux-kernel>. [Accessed 17 Agosot 2018].
- [10] Universidad Carlos III [Online]. Available: https://sites.google.com/site/swcuc3m/home/android/librerias_espanol. [Accessed 17 9 2018].
- [11] F. Boullosa, APPQUEOLOGY 2.0, Barcelona: Universitat de Barcelona.

- [12] Android, “Developer,” [Online]. Available: <https://developer.android.com/guide/components/activities?hl=es-419>. [Accessed 18 Septiembre 2018].
- [13] A. Fariñas, “Android 4 all,” Android 4 all, 27 03 2015. [Online]. Available: <https://andro4all.com/2015/03/10-sensores-mas-importantes-android-video>. [Accessed 10 Agosto 2018].
- [14] Developer, 7 8 2018. [Online]. Available: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview. [Accessed 24 Junio 2018].
- [15] Universidad de Valencia, Sensores y eventos, Valencia: Universidad de Valencia, Dpto. de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, 2014.
- [16] G. C. Fernández, Desarrollo de una aplicación móvil de realidad (Development of a virtual reality mobile), Cantabria: Universidad de Cantabria, 2017.
- [17] I. Linares, “El giroscopio, ¿qué es y qué ocurre si mi móvil no lo tiene?,” El android libre, 4 7 2016. [Online]. Available: <https://elandroidelibre.lespanol.com/2016/07/giroscopio-movil-android.html>. [Accessed 10 Agosto 2018].
- [18] N. Special, «ANDROID APPS REVIEWS/RATINGS AND UPDATE ON NEWZOOGL, » 2018. [En línea]. Available: <http://newzoogle.com/best-sensor-test-apps-for-android-to-check-the-proper-working-of-sensors/>. [Último acceso: 12 Agosto 2018].
- [19] F. Parrón, “SISTEMA DE LOCALIZACIÓN PARA ROBOTS MÓVILES BASADO,” Almería, 2015.
- [20] Wikipedia, “GPS,” 27 10 2018. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPS>. [Accessed 3 Septiembre 2018].
- [21] J. Urrutia, “CÓMO FUNCIONA EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GPS,” in Curso de Cartografía, orientación y GPS, Aristasur, 2016, p. 1.
- [22] D. Argueso González, DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN CLIENTE-SERVIDOR PARA LA GESTIÓN DE GRUPOS DE TRABAJO EN UN ENTORNO EDUCATIVO COLABORATIVO ORIENTADO A DISPOSITIVOS ANDROID, Leganes: Universidad Carlos III, 2013.
- [23] Wikipedia, «Cliente-Servidor,» [En línea]. Available: http://www.cienciasfera.com/materiales/informatica/tecnologia/informacion/tema03/22_componentes_tecnicos_arquitectura_clienteservidor.html.

- [24] M. Herráez, “Una nueva tecnología de Ford mapea la carretera, detecta las irregularidades y avisa a los conductores de los coches conectados.” Con este sistema tu coche ya no pillará más baches en la carretera, p. 1, 17 02 2017.
- [25] D. K. Jackson, System and Methods for Monitoring Reporting Road Quality, US, 2015.
- [26] J. Walsh, “City of Boston,” 21 04 17. [Online]. Available: <https://www.boston.gov/departments/new-urban-mechanics/street-bump>. [Accessed 11 Agosto 2018].
- [27] O. Mayor's, «Street Bumps, » Conected Bits, [En línea]. Available: <http://www.streetbump.org/about>. [Último acceso: 8 Septiembre 2018].
- [28] L. Verde, «Línea Verde,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.lineaverdemunicipal.info:444/marratxi-subsana137-incidencias-por-baches-en-6-meses/>. [Último acceso: 2 Septiembre 2018].
- [29] C. de Madrid, «Portal web del ayuntamiento de Madrid,» [En línea]. Available: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Atencion-a-la-ciudadania/Aplicacion-movil-Avisos-Madrid/Aplicacion-movil-Avisos-Madrid/?vgnextfmt=default&vgnextoid=fcccd2ee88ff1610VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnnextchannel=517cd2ee88ff1610>. [Último acceso: 8 Septiembre 2018].
- [30] Á. Gonzalez Caballero and E. Gómez Martínez, Aplicación Android para obtener información del estado de las carreteras, Leganes: Trabajo Fin de Grado, Dpto. Ingeniería Telemática, Universidad Carlos III, 2016.
- [31] Á. Gonzalez Caballero, Aplicación Android para obtener información del estado de las carreteras., Leganes: Trabajo Fin de Grado, Dpto. Ingeniería Telemática, Universidad Carlos III, 2016.
- [32] «Comunidad de Madrid,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.comunidad.madrid/servicios/transporte/conservacion-mejora-seguridad-vial-carreteras>. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [33] AtresMedia, «Ponle Freno,» 2018. [En línea]. Available: <https://compromiso.atresmedia.com/ponlefreno/campanas/carreteras-senales/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [34] M. de Interior, «Ministerio de Interior,» 06 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2017/06JUNIO/0628ministerio-del-interior-presenta-una-nueva-campana.shtml#.W6ZYX2gzbIU>. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [35] U. d. Alicante, “Curso de desarrollo de aplicaciones Android,” 26 Enero 2014. [Online]. Available: <http://www.jtech.ua.es/cursos/apuntes/moviles/daa2013/sesion04-apuntes.html>. [Accessed 5 Junio 2018].

- [36] “StackExchange,” [Online]. Available:
<https://android.stackexchange.com/questions/91563/is-it-possible-to-repair-an-accelerometer>.
- [37] Android, “Developers,” 2018. [Online]. Available:
<https://developer.android.com/training/maps/>. [Accessed 18 Septiembre 2018].

- [38] Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal., 1999.
- [39] Constitución Española, Artículo 18. (BOE N° 311, 29 diciembre 1978)., 1978.
- [40] Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia., 1995.
- [41] Wikipedia, “Wiggle stereoscopy,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Wiggle_stereoscopy. [Accessed 23 Junio 2018].
- [42] J. A. Aguado, Optimización de rutas de transporte, Madrid: Universidad Complutense , 2012/2013.
- [43] D. R. Garcia, Sistema de creación de rutas sobre mapas con coordenadas GPS para MTB y senderismo, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2014.
- [44] C. T. Moro, “Dispositivos Móviles y Multimedia,” mosaic, tecnología y comunicación multimedia, 2006.
- [45] G. García, 1 3 2012. [Online]. Available: <http://dispmovs.blogspot.com/2012/03/historia-de-los-dispositivos-moviles.html> . [Accessed 28 2018].
- [46] T. E. o. E. Britannica, “Trilateration,” Enciclopedia Británica, p. 1.